2e Année N° 9 Juin 1935

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

(Météorologie, Séismologie, Magnétisme terrestre, Océanographie, Volcanologie, Hydrologie)

Paraissant tous les deux mois

SOMMAIRE

Déclinaison magnétique en Algérie et dans les Territoires du Sud.

Les mouvements généraux de l'air atmosphérique au-dessus des colonies françaises *(Suite et fin)*.

Contribution à l'étude des ballons de sondage destinés aux colonies.

Le front polaire dans l'Océan Indien.

Notes et informations.

Bibliographie.

PARIS Ve
LAROSE ÉDITEUR
11, RUE VICTOR-COUSIN

Prix du Numéro : 6 francs

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

LAROSE, Éditeur,

11, Rue Victor-Cousin, PARIS (Ve)

-:- Téléphone : Odéon 32-70 -:-

Chèques postaux : Paris 428.81

PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL

(6 numéros)

FRANCE ET COLONIES FRANÇAISES. . . 35 francs.

ETRANGER . . . . . 40 francs.

Les abonnements sont payables d'avance à la souscription.

Chaque changement d'adresse doit être accompagné de 1 franc en timbres-poste.

Prix de la collection 1934 . . . . . 45 francs.

Tous droits de reproduction réservés

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer sont publiées sous les auspices du *Conseil de Perfectionnement des Services de Physique du Globe des Colonies*, et sous la direction de M. Henry Hubert, Inspecteur Général du Service Météorologique Colonial.

Chaque numéro contient des mémoires originaux, une chronique des questions de Physique du Globe intéressant les Colonies françaises et une revue bibliographique.

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer résument les recherches et observations faites par les météorologistes coloniaux et présentées dans les publications locales ; elles abordent en outre soit des études spéciales n'ayant pu trouver place dans ces publications, soit — et cela de préférence — des travaux d'ensemble concernant des groupes ou la totalité de nos territoires extérieurs. Elles se proposent de faire ressortir la variété et la nouveauté des recherches de Physique du Globe entreprises dans nos possessions lointaines et de réaliser une présentation synthétique des questions, considérées dans le cadre très vaste de notre domaine colonial.

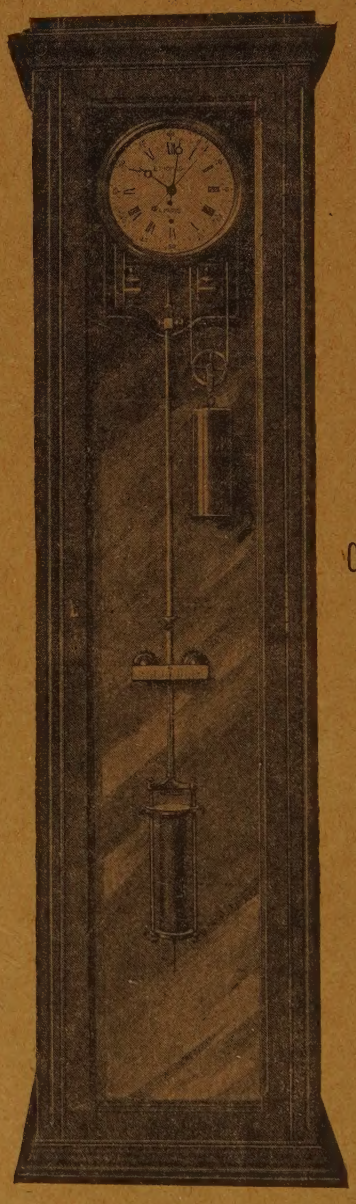
Les numéros de l'année 1935 sont publiés à l'aide de subventions de la Fondation Loutreuil (Académie des Sciences) et de l'Académie des Sciences Coloniales et de subventions officielles.

J. AURICOSTE

Horloger de la Marine de l'État ;
de l'Observatoire du Bureau des Longitudes
et du Service Géographique de l'Armée

10, Rue La Boëtie, **PARIS**

Téléph. : Anjou 25-60



Études
Projets
et
Devis
gratuits
sur demande

Installation
de
Centres Horaires
—
Distribution
d'heure

HORLOGERIE DE HAUTE PRÉCISION
:-: PENDULES ASTRONOMIQUES :-:
:-: CHRONOMÈTRES DE MARINE :-:
CHRONOGRAPHES-COMPTEURS
:-: HORLOGERIE ÉLECTRIQUE :-:
Construction — Réparations

DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE
en Algérie et dans les Territoires du Sud de l'Algérie

L'exposé qui suit est basé à la fois sur la documentation réunie par Mlle Homery dans ses mémoires consacrés au magnétisme en Afrique du Nord et en Afrique Occidentale et Equatoriale françaises (1) et sur les résultats des mesures que j'ai pu faire depuis 1925, tant sur le pilier de l'observatoire de Bouzaréah, obligeamment mis à ma disposition par M. Gonnessiat, puis par M. Lagrula, qu'au cours de mes tournées de service en Algérie et dans les territoires du Sud de l'Algérie, mesures auxquelles Mlle Malbos a pris une part active dès 1927, ainsi qu'aux calculs et réductions auxquels elles ont donné lieu.

Ces mesures portent sur les trois éléments ; nous laisserons de côté l'inclinaison et la composante horizontale et ne nous occuperons que de la déclinaison. Elle est partout occidentale.

Algérie

Les localités algériennes figurant dans le premier mémoire de Mlle Homery sont au nombre de 87 (de Colomb-Béchar à Souk-Ahras). Nous avons opéré dans 40 d'entre elles et dans 35 autres. Il y a donc seulement 122 points connus, dispersés sur une étendue plus grande que la France (2).

Toutes les mesures ont été ramenées à 1931,0 en rapportant la variation séculaire de chaque station à celle de Bouzaréah, où la courbe de D depuis 1887 (année de la campagne de Moureaux dans le bassin occidental de la Méditerranée) est connue.

On a procédé de la manière que voici :

I. — On a adopté pour les mesures anciennes les valeurs au 1er janvier de l'année de l'observation. données par Mlle Homery, et on a réduit les mesures nouvelles au 1er janvier le plus rapproché, par comparaison avec le Val Joyeux, en admettant une variation diurne proportionnelle à celle du Val ; le coefficient de proportionnalité a été calculé d'après les résultats obtenus par le capitaine Bidan à Rabat (1) et en fonction de la différence de latitude avec le Val.

II. — Il y a six stations en Algérie : Aïn Sefra, Oran, Orléansville, Touggourt, Biskra, Constantine et deux en Tunisie : Tunis et Sfax, où l'on compte plus de trois observations faites à des dates assez espacées. Ces observations, ramenées au 1er janvier voisin, présentent par rapport à la déclinaison à Bouzaréah, au même premier janvier, des différences qui, dans la limite des erreurs de mesure et de celles qu'introduit le mode de réduction, peuvent être représentées par des fonctions linéaires du temps. Soient donc D et B les valeurs de la déclinaison dans une station et à Bouzaréah à l'époque t, comptée à partir de la première mesure ; on a :

$$D - B = a + bt \qquad [1]$$

C'est ce que montre le tableau 1, en annexe dans lequel on a introduit une neuvième station, El Goléa, avec trois mesures seulement.

La formule [1] étant vérifiée, sur un intervalle d'une quarantaine d'années, dans des stations situées, la plupart, près des bords du réseau, on a pu songer à l'étendre à tous les points de celui-ci en faisant du coefficient b une fonction de la longitude et de la latitude rapportées à Bouzaréah.

Posant :

$$b = cl + d\lambda + el^2 + fl\lambda + g\lambda^2, \qquad [2]$$

on a neuf relations permettant le calcul des cinq facteurs c, d, e, f, g. On pourrait introduire encore dans [2] les termes du troisième degré en l et λ, et résoudre le système de neuf équations à neuf inconnues ainsi obtenu.

Mais, en raison des dimensions du réseau (1.100 kilomètres à vol d'oiseau d'Aïn Sefra à Tunis, 700 de Bouzaréah à El Goléa), on a préféré à une seule

(1) *Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris et du Bureau central du magnétisme terrestre*, tome II, pp. 43 et 119.

(2) Nous avons dû, pour les besoins de notre étude, nous servir des données tunisiennes et marocaines reproduites par Mlle Homery, mais il ne s'agit ici que du compte des stations de notre ressort.

(1) *Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris*, tome 7, p. 180.

formule des relations se rapportant à des étendues moindres.

On a donc adjoint aux neuf stations précitées deux stations algériennes, le Kreider et Djelfa, et deux stations de l'extérieur, San Fernando et Mogador. Les raisons de ce choix sont :

Pour Djelfa, sa position presque centrale et l'accord à une minute près que présentent les deux mesures qui y furent faites à 36 ans de distance (1891, 1927), réduites à 1931,0 par application du coefficient b d'Orléansville ;

Pour le Kreider, sa situation à mi-chemin entre Oran et Aïn-Sefra et la concordance qu'offrent D_{1912} et D_{1927}, réduites à 1931,0 par application du coefficient b de cette station, tiré de la formule II donnée plus loin ;

Pour Mogador et San Fernando, le besoin de s'appuyer sur deux points, situés au delà de la frontière Ouest de l'Algérie, dont les données pussent-être reliées à Bouzaréah par la formule [1] (1).

Le pays a été divisé en quatre aires auxquelles correspondent les formules ci-dessous, où l et λ sont exprimées en minutes d'arc et comptées positivement depuis Bouzaréah, l vers l'Ouest, λ vers le Nord :

Extrême Ouest de l'Algérie et ports et marocains (Mogador, San Fernando, Oran, le Kreider, Aïn Sefra) :

$$1000\,b = -0{,}890\,l - 8{,}070\,\lambda + 3{,}417.10^{-3}l^2 - 1{,}796{,}10^{-3}l\lambda - 2{,}301.10^{-3}\lambda^2 ; \text{ (I)}$$

Ouest de l'Algérie (Aïn Sefra, Oran, Orléansville, Djelfa, El Goléa) :

$$1000\,b = 3{,}981\,l - 4{,}660\,\lambda - 1{,}392.10^{-3}l^2 + 3{,}541.10^{-3}l\lambda - 8{,}215.10^{-3}\lambda^2 ; \text{ (II)}$$

Centre (Orléansville, Djelfa, Touggourt, Biskra, Constantine) :

$$1000\,b = 1{,}429\,l - 3{,}105\,\lambda + 7{,}859.10^{-3}l^2 - 1{,}493.10^{-3}l\lambda + 3{,}630.10^{-3}\lambda^2 ; \text{ (III)}$$

Est de l'Algérie et Tunisie (Touggourt, Biskra, Constantine, Tunis, Sfax) :

$$1000\,b = +0{,}641\,l + 0{,}243\,\lambda - 1.766.10^{-3}l^2 + 0{,}403.10^{-3}l\lambda + 4{,}962.10^{-3}\lambda^2. \text{ (IV)}$$

(1) San Fernando : 1888 (Moureaux), 16°54′ ; 1912 (Carnegie), 15°01′ ; 1931 (extrapolation, Mlle Homery), 12°27′.

D-B = 181′ + 0′,731. t.

Mogador : 1906 (Traub), 16°05′ ; 1912 (Carnegie), 15°44′ ; 1925,6 (Carnegie), 14°12′ ; 1926 (Service Topographique Chérifien), 14°04′.

D-B = 231′ + 2′,009. t.

Le tableau 2, en annexe, donne les résultats de l'application de ces formules à la réduction à 1931,0 des mesures faîtes en Algérie et en Tunisie, ainsi que dans les ports marocains mentionnés par Mlle Homery. Ceux de la côte Atlantique s'alignent presque le long de l'arc Mogador-San Fernando et il était intéressant de voir ce qu'y donnerait la formule I ; mais nous ne pensons pas qu'elle puisse servir en dehors de cette ligne et des confins algéro-marocains : dans l'intervalle il y a le Maroc, plus grand que l'Algérie.

Le secteur ouest-algérien va, dans sa partie méridionale, jusqu'au méridien d'Alger, et même un peu au delà, vers Djelfa : les dénominations « Ouest » et « Centre » ne sont donc pas très heureuses.

D'autre part, il y a, entre ces deux secteurs, un triangle : El Goléa-Djelfa-Touggourt, dont les localités ont été rattachées, respectivement au secteur le plus voisin, sauf en ce qui concerne les stations échelonnées entre Touggourt et Ared Kanem, pour lesquelles la formule IV s'est montrée préférable : elle donne à Ared Kanem la même valeur de b que la formule II.

La forme de la relation (I) qui convient à la réduction à 1931,0 est :

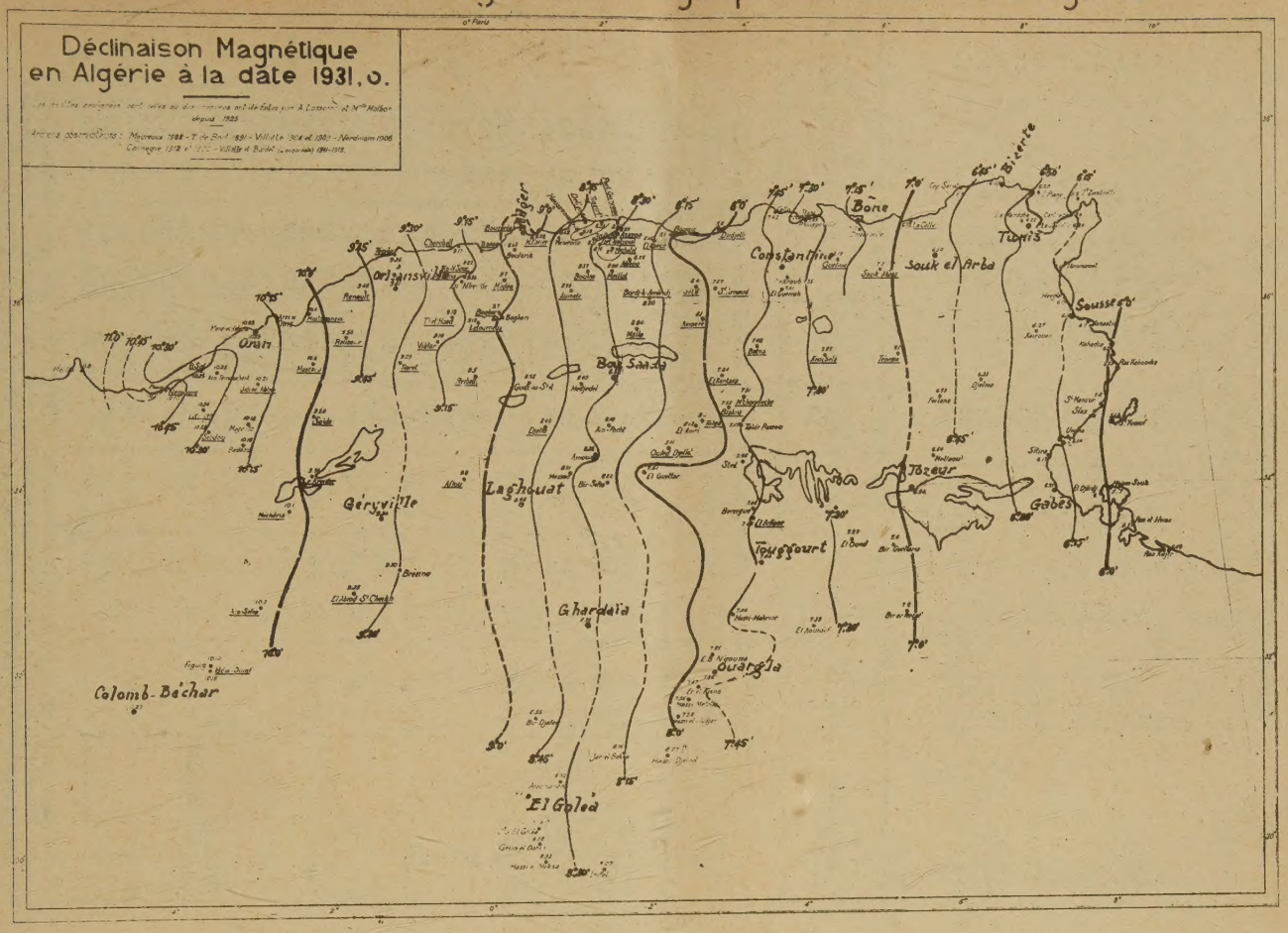
$$D_{1931} = D_\tau - (B_\tau - B_{1931}) + b\,(1931 - \tau),$$

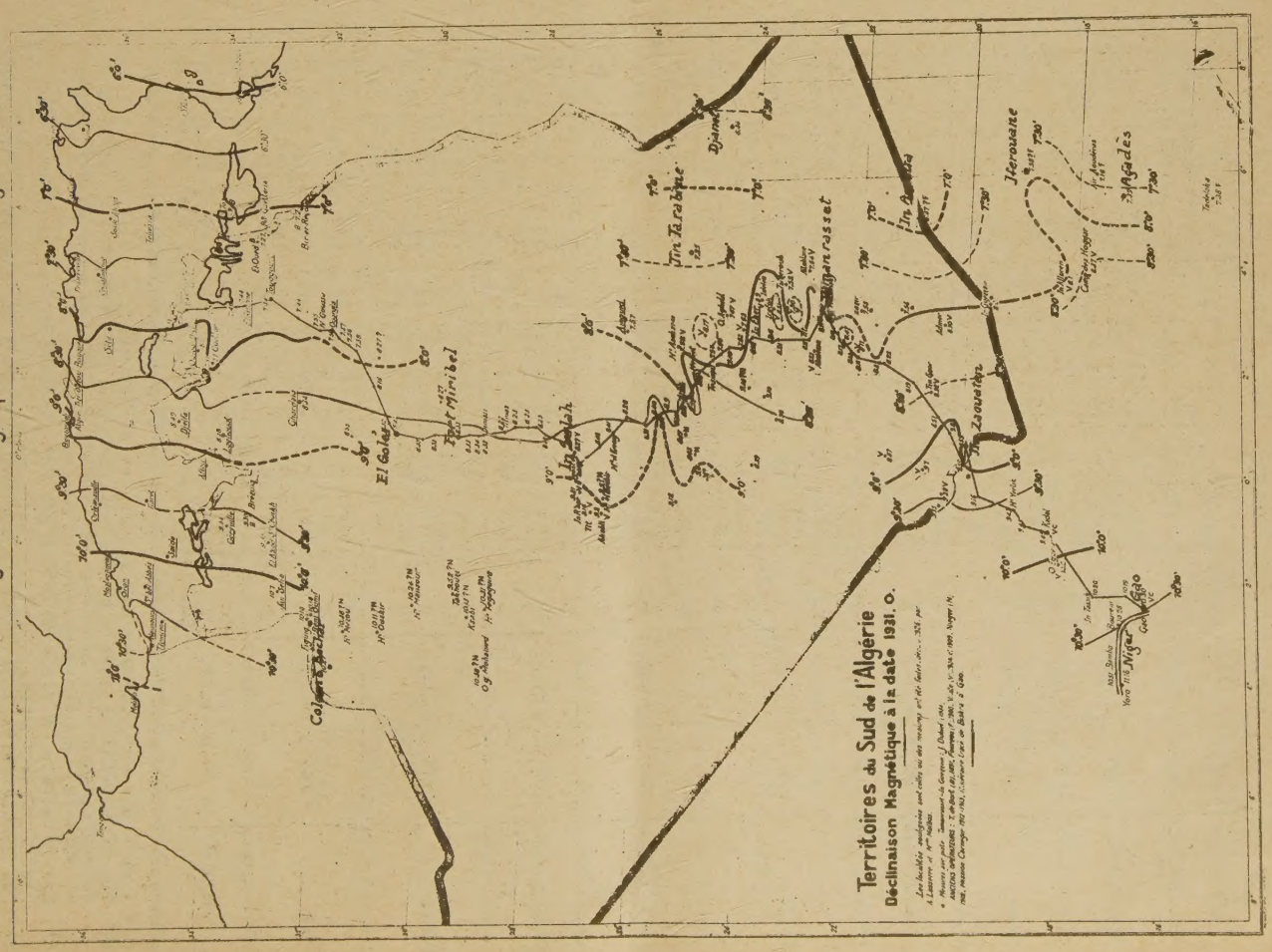
τ étant l'année de la mesure. Les termes $B_\tau - B_{1931}$ et $b\,(1931 - \tau)$ ont été arrondis à la minute.

Pour permettre de se reporter plus aisément au mémoire de Mlle Homery, on a gardé, dans chaque secteur, la présentation par ordre de longitude, d'Ouest en Est. Le tableau 2, en annexe, donne d'abord les valeurs de la déclinaison à Bouzaréah au 1er janvier, depuis 1888 ; on a ainsi tous les éléments du calcul.

Les résultats portés dans la colonne $D_{1931,0}$ donnent lieu à quelques remarques.

Dans certains ports du Maroc (notamment à Casablanca et Tanger), ils forment deux groupes qui donnent l'impression d'appartenir à deux stations distinctes. Sans vouloir nous en occuper autrement, nous rapprochons cette remarque du fait que nos mesures en Algérie ont été effectuées en des points qui, sauf peut-être à Aïn Sefra, où existe une station astronomique mentionnée sur la carte à 1/200.000e et située à distance favorable, peuvent être assez éloignés de ceux où se sont placés les premiers opérateurs. C'est ainsi qu'à Saïda, Orléansville, Maison-Carrée, Bouïra, Bône, Souk Ahras, nous avons opéré à deux kilomètres et plus des emplacement Moureaux. De là peuvent résulter des écarts dont voici deux exemples :





Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie

TABLEAU I

Stations	a(1)	b(1)	(2) Opérateurs	Dates	t	D	B	D - B mesuré	D - B calculé	écart
Aïn Sefra	45'	0'666	TB	1891	0	14°24'	13°39'	45'	45'	0'
			N	1906	15	13 17	12 22	55	55	0
			C	1912	21	12 41	11 43	58	59	-1
			L	1927	36	10 36	9 26	70	69	+1
Oran	72,7	0,422	M	1888	0	15, 5	13 53	72	72,7	-0,7
			N	1906	18	13 43	12 22	81	80,3	+0,7
			C	1912	24	13 5	11 43	82	82,8	-0,8
			L	1927	39	10 56	9 26	90	89,2	+0,8
Orléansville	29,8	0,411	M	1888	0	14 23	13 53	30	29,8	+0,2
			N	1906	18	12 59	12 22	37	37,2	-0,2
			C	1912	24	12 23	11 43	40	39,7	+0,3
			L	1927	39	10 11,5	9 26	45 5	45,8	-0,3
Biskra	-65,7	0,1046	M	1888	0	12 49	13 53	-64	-63,7	-0,3
			TB	1891	3	12 36	13 39	-63	-63,4	+0,4
			V(3)	1904	16	11 27	12 34,5	-67,5	-62,0	-5,5
			N	1906	18	11 20	12 22	-62	-61,8	-0,2
			V(3)	1909	21	11 14	12 3,5	-69,5	-61,5	-8,0
			C	1912	24	10 44	11 43	-59	-61,2	+2,2
			L	1927	39	8 24,5	9 26	-61,5	-59,6	-1,9
Touggourt	-79,3	0,265	TB	1891	0	12 22	13 39	-77	-79,3	+2,3
			V(3)	1904	13	11 4	12 34,5	-90,5	-75,9	-14,6
			C	1912	21	10 27	11 43	-76	-73,7	-2,3
			C	1922,2	31,2	9 2	10 14	-72	-71,0	-1,0
			L	1928	37	8 9	9 17,5	-68,5	-69,5	+1,0
Constantine	-76,6	0,0555	M	1888	0	12 36	13 53	-77	-76,6	-0,4
			TB	1891	3	12 23	13 39	-76	-76,4	+0,4
			N	1906	18	11 6	12 22	-76	-75,6	-0,4
			L	1927	39	8 12	9 26	-74	-74,4	+0,4
Tunis	-145,0	-0,0475	M	1888	0	11 27	13 53	-146	-145,0	-1,0
			TB	1891	3	11 14	13 39	-145	-145,1	+0,1
			C	1912	24	9 18	11 43	-145	-146,1	+1,1
			C	1922,1	34,1	7 48	10 14	-146	-146,6	+0,6
			P	1924	36	7 27	9 54,5	-147,5	-146,7	-0,8
Sfax	-167,9	-0,0125	M	1888	0	11 5	13 53	-168	-167,9	-0,1
			H	1888		11 5				
			D	1906	18	9 34	12 22	-168	-168,1	+0,1
			C	1912	24	8 55	11 43	-168	-168,2	+0,2
			C	1922	34	7 28	10 14,5	-168,5	-168,3	-0,2
El Goléa(4)	- 36,0	+0,625	TB	1891	0	13 3	13 39	- 36	- 36	0
			C	1912	21	11 18	11 43	- 25	- 22,9	-2,1
			LM	1930	39	8 53	9 2,5	- 9,5	- 11,6	+2,1

(1) a et b ont été calculés par la méthode de Cauchy.
(2) TB, Teisserenc de Bort ; C, Mission Carnegie ; D, Delahu ; H, Mission hydrographique ; M, Moureaux ; L, Lasserre ; LM, Lasserre et Mlle Malbos; P, Palazzo ; V, Villatte.
(3) Les résultats de Villatte n'ont pas été introduits dans le calcul des coefficients a et b.
(4) Une mesure faite à El Goléa le 1er Janvier 1933, par situation magnétique un peu agitée; elle a donné $D_{1933,0} = 8°27'$; on a $B_{1933,0} = 8°39'$, d'où D-B = 12'. La formule (1) donne, en partant de 1891:
D-B = -36' + 0,625 x 42 = -9,7. L'écart est de -2'3.

TABLEAU 2

BOUZARÉAH, long. 0° 42' E P, lat. 36° 48'.
Déclinaison au 1er Janvier

1888	13° 53'	1900	12° 56',5	1912	11° 43'	1924	9° 54'5
89	" 48	1	" 51	13	" 36,5	25	" 44'5
1890	" 43,5	2	" 46	14	" 28,5	26	" 36
91	" 39	3	" 40, 5	15	" 20,5	27	" 26
92	" 34,5	4	" 35	16	" 12	28	" 17,5
93	" 30	5	" 28, 5	17	" 3,5	29	" 9,5
94	" 25,5	6	" 22	18	10 55	30	" 2,5
95	" 20,5	7	" 16	19	" 45	31	8 54,5
96	" 16	8	" 9, 5	1920	" 35,5	32	" 47
97	" 11,5	9	" 4	21	" 25	33	" 40
98	" 6,5	1910	11 56, 5	22	" 14,5	34	" 30
99	" 1,5	11	50	23	" 5		

Stations	Long. Paris	Lat.	1000b	Opérateur. (1)	Date (τ)	D_τ	D 1931,0	Valeur adoptée
Ports marocains et extrême ouest de l'Algérie (formule I)								
Mogador	12°5'W	31° 31'	2009	T	1906	16° 15'	13° 37'	
"				C	1912	15 44	" 33	
"				C	1925,6	14 12	" 37	
"				STC	1926	14 4	" 32	
Agadir	11 57	30 28	1557	H	1920	14 40	13 16	
Safi	11 32	32 18	2043	T	1906	16 32	13 55	
"				C	1912	15 31	" 21	
Mazagan	10 50	33 16	1965	T	1906	16 14	13 35	
"				C	1912	15 47	" 35	
"				H	1920	14 34	" 15	
Casablanca	9 56	33 34	1745	T	1906	15 50	13 6	
"				C	1912	15 9	12 53	
"				H	1920	14 28	13 5	
"				C	1925,6	13 30	12 53	
"				STC	1926	13 26	" 53	
Rabat	9 10	34 2	1552	T	1906	15 28	12 39	
"				C	1912	14 58	" 38	
"				STC	1926	13 9	" 35	
Larache	8 29	35 12	1204	T	1906	15 21	12 23	
"				C	1912	14 49	" 23	
Tanger	8 9	35 47	956	M	1888	16 46	12 28	
"				T	1906	15 19	" 15	
"				C	1912	14 47	" 16	
"				C	1925,5	13 5	" 24	
"				STC	1926	13 2	" 25	
Melilla	5 16	35 18	717	C	1912	13 43		11° 8'
Colomb-Béchar	4 32	31 37	518	N	1906	13 54	10 39	10 27
"				C	1912	13 9	" 30	
"				L	1927	10 57	" 27	
Nemours	4 10	35 6	666	TB	1891	14 55	10 37	10 56
"				C	1912	13 33	" 57	
" (p.trig)				L	1923	12 2	" 56	

(1) B, Bernardière ; TB, Teisserenc de Bort ; C, Mission Carnegie ; D, Delahu ; H, Mission Hydrographique ; M, Moureaux ; L, Lasserre ; LM, Lasserre et Malbos ; P, Palazzo ; STC, Service topographique chérifien ; V, Villatte.

TABLEAU 2 (suite)

Stations	Long. Paris	Lat.	1000b	Opérateur (1)	Date (τ)	D_τ	$D_{1931,0}$	Valeur adoptée
Phare de Nemours	4°10'W	35° 6'	·666	LM	1929	10° 45'		10°31'
Beni Saf	3 42	35 18	586	L	1923	11 40	10°34'	10°35
"				L	1927	11 5	" 35	
Sebdou	3 40	34 38	723	LM	1929	10 43		10 29
Tlemcen	3 38	34 54	674	TB	1891	14 47	10 29	10 34
"				L	1923	11 43	" 37	
"				L	1927	11 1	" 32	
Figuig	3 35	32 4	564	M	1906	13 24		10 10
Beni Ounif	3 35	32 2	555	C	1912	12 53	10 15	10 18
"				L	1927	10 49	" 19	
"				L	"	10 47	" 17	
Aïn Temouchent	3 29	35 17	587	M	1888	15 9		10 35
Bedeau	3 9	34 30	710	C	1912	12 54		10 18
Magenta	3 5	34 43	574	M	1888	14 52		10 18
Mers-el-Kébir	3 2	35 44	420	B	1888	15 6	10 25	10 25
"				TB	1891	14 52	" 24	
Sidi-bel-Abbès	2 59	35 11	575	M	1888	14 55	10 21	10 21
"				L	1923	11 29	" 23	
"				L	1927	10 49	" 19	
Oran	2 57	35 43	422	M	1888	15 5	10 24	10 25
"				N	1906	13 43	" 26	
"				C	1912	13 5	" 24	
"				C	1922,3	11 44	" 30	
" (plateau du Murdjadjo)				L	1927	10 56	" 26	
Aïn Sefra	2 56	32 45	666	TB	1891	14 24	10 6	10 7
"				N	1906	13 17	" 6	
"				C	1912	12 41	" 5	
"				L	1927	10 36	" 7	
-Ouest Algérie (formule II)								
Arzeu	2°39'W	35° 52	383	M	1888	15° 0'	10°17'	10°15'
"				TB	1891	14 45	" 15	
Méchéria	2 36	33 33	704	M	1888	14 36	10 7	10 4
"				TB	1891	14 17	" 0	
"				L	1927	10 33	" 4	
Le Kreider	2 16	34 8	701	C	1912	12 30	9 54	9 56
"				L	1927	10 25	" 56	
Mostaganem	2 15	35 55	460	TB	1891	14 32	10 5	10 4
"				LM	1929	10 18	" 4	
Mascara	2 12	35 25	551	M	1888	14 38	10 3	10 2
"				L	1923	11 9	" 2	
"				L	1927	10 32	" 2	
Saïda	2 11	34 49	637	M	1888	14 52	10 20	9 58
"				C	1912	12 52	" 15	
"				L	1929	10 12	9 58	
"				L	1934	9 34	" 57	
L'Hillil	1 58	35 43	512	TB	1891	14 22		9 57
Relizane	1 48	35 44	514	L	1927	10 24		9 54
El Abiod Sidi Cheikh	1 41	32 54	806	TB	1891	13 50	9 37	9 35
				LM	1934	9 12	" 35	
Renault	1 30	36 9	433	LM	1929	10 0		9 46
Géryville	1 19	33 41	782	L	1927	10 1	9 32	9 34
"				LM	1934	9 11	" 34	
Brérina	1 6	33 6	812	TB	1891	13 43		9 30
Ténès	1 2	36 30	338	TB	1891	14 6	9 35	9 36
"				LM	1929	9 50	" 36	
Orléansville	1 2	36 11	411	M	1888	14 23	9 42	9 41
"				N	1906	12 59	" 41	
"				C	1912	12 23	" 42	
"				L	1927	10 11	" 41	

TABLEAU 2 (suite)

Stations	Long. Paris	Lat.	1000b	Opérateur (1)	Date (τ)	D_τ	$D_{1931,0}$	Valeur adoptée
Tiaret	1° 2'W	35° 23'	569	TB	1891	14° 5'	9°43'	9°29'
"				C	1912	12 14	" 36	
"				L	1927	9 59	" 29	
Vialar	0 32	35 36	490	L	1927	9 46		9 16
Teniet-el-Haad	0 18	35 52	411	L	1927	9 48		9 18
Aflou	0 14	34 7	748	LM	1934	8 43		9 8
Cherchell	0 10	36 36	221	TB	1891	13 52	9 16	9 17
"				LM	1929	9 32	" 17	
Affreville	0 7	36 16	297	M	1888	13 57		9 11
Miliana	0 6	36 19	282	L	1927	9 45		9 14
Aïn N'Sour	0 4	36 21	270	LM	1929	9 36		9 22
Chellala-Reibell	0 1	35 13	500	TB	1891	13 44	9 19	9 5
"				LM	1931	9 5	" 5	
El Echia	0°23'E	31 4	672	TB	1891	13 20		9 2
El Golèa	0 30	30 35	625	TB	1891	13 3	8 43	8 41
"				C	1912	11 18	" 41	
"				LM	1930	8 53	" 46	
"				LM	1933	8 27	" 41	
Laghouat	0 32	33 49	604	TB	1891	13 20	8 59	8 48
"				L	1927	9 19	" 49	
"				LM	1930	8 55	" 48	
Bir-Djafer	0 39	31 29	659	TB	1891	13 14		8 55
Campt El Golèa	0 39	30 15	571	C	1912	10 14?		7 36?
Grun el Dehia	0 40	30 6	551	C	1912	11 17		8 38
Hassi el Meksa	0 42	29 54	520	C	1912	11 12		8 33
Arek Kanem	0 55	30 46	573	C	1912	11 10		8 32
Djelfa	0 56	34 41	411	TB	1891	13 17	8 48	8 49
"				L	1927	9 19	" 49	
Ghardaïa	1 20	32 29	517	TB	1891	12 59	8 35	8 34
"				L	1927	9 6	" 36	
"				LM	1933	8 18	" 34	
Hassi Inifel	1 25	29 48	376	V	1904	11 59	8 28	8 27
"				V	1909	11 27	" 25	
Centre (Formule III)								
Letourneux	0° 3'E	35° 54	278	LM	1931	9°12'		9°12
Tipasa	0 6	36 36	105	LM	1932	9 2		9 9
Boghar	0 22	35 55	223	L	1927	9 38		9 7
Boghari	0 24	35 53	226	TB	1891	13 29		8 54
Médéa	0 26	36 16	137	PB	1891	13 41	9 1	9 7
"				N	1906	12 28	" 3	
"				L	1926	9 48	" 7	
Boufarik	0 35	36 35	52	M	1888	13 50		8 53
Guelt-és-Stel	0 41	35 9	347	TB	1891	13 29		8 58
Maison Carrée	0 48	36 43	7	M	1888	13 49	8 50	8 58
"				LM	1931	8 58	" 58	
Messad	1 10	34 9	486	TB	1891	12 57		8 31
Ménerville	1 13	36 44	26	M	1888	13 40		8 42
Aumale	1 22	36 9	59	LM	1930	8 46		8 38
Medjedel	1 23	35 9	237	TB	1891	13 16		8 40
Haussonvillers	1 31	36 45	44	TB	1891	13 1		8 18
Dellys	1 34	36 55	-70	L	1923	9 52	8 40	8 40
"				L	1925	" 32	" 42	
"				L	1926	" 21	" 40	
Boufra	1 34	36 23	6	M	1888	13 28	8 29	8 37
"				L	1927	9 9	" 37	
Amoura	1 35	34 21	365	TB	1891	13 2		8 32
Bir Sefta	1 42	34 2	408	TB	1891	12 52		8 22
Tizi-Ouzou	1 43	36 43	-47	L	1926	9 13		8 31
Aïn Richt	1 44	34 41	278	TB	1891	12 52		8 18
Tigzirt-s-Mer	1 47	36 54	-71	L	1925	9 14		8 23

TABLEAU 2 (suite)

Stations	Long. Paris	Lat.	1000b	Opérateur (1)	Date (τ)	D_τ	$D_{1931,0}$	Valeur adoptée
Bou-Saada	1°51'E	35°13'	168	TB	1891	13° 3'	8°25'	8°32'
"				L	1926	9 12	" 32	
Fort National	1 52	36 39	-42	LM	1930	8 23		8 15
Maillot	1 56	36 22	- 8	TB	1891	13 8	8 23	8 26
"				LM	1930	8 35	" 27	
"				LM	"	" 34	" 26	
Michelet	1 58	36 35	-37	LM	1930	8 15		8 7
Port-Gueydon	2 1	36 54	-74	L	1925	9 26		8 35
Azarga	2 3	36 45	-58	L	1927	9 1		8 29
Akbou	2 12	36 28	-28	LM	1927	8 54		8 22
El Guettar	2 12	34 8	310	TB	1891	12 24		7 51
M'sila	2 13	35 43	64	LM	1930	8 32		8 24
Bordj-bou-Arréridj	2 26	36 5	10	L	1927	8 52		8 20
El Kseur	2 31	36 41	-52	L	1927	8 47		8 15
Ouled Djellal	2 44	34 25	200	TB	1891	12 37	8 0	8 11
"				LM	1930	8 24	" 16	
"				LM	1932	7 59	" 6	
Bougie	2 45	36 45	-54	N	1906	11 33	8 4	8 1
"				C	1912	10 53	" 3	
"				L	1926	8 42	" 1	
El Amri	2 59	34 40	146	TB	1891	12 52		8 13
Tolga	3 3	34 44	135	LM	1930	8 14		8 6
Sétif	3 4	36 11	0	M	1888	13 1	8 2	8 4
"				C	1912	10 56	" 7	
"				L	1926	8 45	" 4	
Ampère	3 11	35 49	27	L	1927	8 33		8 1
Saint-Arnaud	3 21	36 10	4	L	1927	8 29		7 57
El Kantara	3 22	35 14	71	L	1927	8 26		7 54
Biskra	3 24	34 51	105	M	1888	12 49	7 55	7 55
"				TB	1891	12 36	" 55	
"				V	1904	11 27	" 49	
"				N	1906	11 20	" 55	
"				V	1909	11 14	8 6	
"				C	1912	10 44	7 57	
"				L	1927	8 25	" 53	
Djidjelli(1)	3 26	36 50	-22	N	1906	11 27	7 58	8 2
"				L	1925	8 53	8 2	
Touggourt	3 44	33 6	265	TB	1891	12 22	7 48	7 44
"				V	1904	11 4	" 30	
"				C	1912	10 27	" 43	
"				C	1922,2	9 2	" 45	
"				L	1928	8 9	" 47	
"				LM	1933	7 27	" 41	
Constantine	4 18	36 22	56	M	1888	12 36	7 39	7 40
"				TB	1891	12 23	" 40	
"				N	1906	11 6	" 39	
"				L	1927	8 12	" 40	

Est Algérie et Tunisie (formule IV)

Jar-el-Bakra	1°44'E	31° 4'	543	C	1912	10°56'		8°16'
Hassi Djemel	2 19	31 1	570	V	1904	11 53?		8 27?
Hassi el Hadjar	2 27	31 28	490	C	1912	10 38		7 58
Hassi Metalla	2 39	31 39	465	C	1912	10 36		7 56
Er el Aïcha	2 46	31 48	441	C	1912	10 28		7 47
El bour M' Ouargla	3 0	32 10	386	C	1912	10 37		7 55
" Goussa	3 0	31 58	290	V	1904	11 48	8 15	7 56
"				V	1909	11 7	" 8	
"				C	1912	10 30	7 54	
"				LM	1933	7 42	" 56	
Hassi Mahmar	3 18	32 34	331	C	1912	10 27		7 44
Tahir Rassou	3 33	34 39	118	TB	1891	12 25		7 45
Steil	3 34	34 15	147	C	1912	10 42		7,56

(1)Le point "Djelibi" (long.3°?0, lat.36°54) du mémoire de Mlle Homery est en mer,nous avons admis qu'il s'agit de Djidjelli.

TABLEAU 2 (suite & fin)

Stations	Long.	Lat.	1000b.	Opérateur (1)	Date (τ)	D_τ	$D_{1931,0}$	Valeur adoptée
Berzigue	3°38'E	33°43'	195	C	1912	10°31'		7°46'
M'chounech	3 39	34 57	100	LM	1932	7 43		7 51
El Arfiane	3 39	33 38	204	L	1928	8 7		7 44
Batna	3 51	35 33	95	M	1888	12 40	7 45	7 42
"				N	1906	11 12	" 46	
"				LM	1930	7 50	" 42	
Collo	4 14	37 0	59	LM	1930	7 50		7 42
El Guerrah	4 16	36 9	56	C	1912	10 29		7 41
El Aouidef	4 21	32 26	355	TB	1891	12 10		7 39
Le Kroub	4 22	36 15	56	M	1888	12 32		7 35
Stora	4 33	36 54	45	LM	1929	7 37		7 22
Philippeville	4 34	36 52	54	M	1888	12 32	7 35	7 39
"				N	1906	11 6	" 39	
"				C	1912	10 27	" 39	
Khenchela	4 49	35 26	72	LM	1928	7 51		7 27
El Oued	4 57	33 22	230	TB	1891	12 3		7 27
Guelma	5 5	36 29	45	LM	1929	7 34		7 19
Duzerville	5 24	36 48	40	M	1888	12 14		7 17
Bône	5 26	36 55	40	M	1888	12 18	7 21	7 14
"				LM	1929	7 29	7 14	
Bir Guettaria	5 30	33 19	228	TB	1891	11 42		7 6
Bir Er Recof	5 37	32 33	326	TB	1891	11 34		7 2
Souk-Ahras	5 38	36 17	69	M	1888	12 6	7 10	7 3
"				C	1912	10 3	" 15	
"				LM	1928	7 26	" 3	
Tebessa	5 48	35 25	55	LM	1928	7 25		7 1
Tozeur	5 48	33 56	157	TB	1891	11 33		6 54
La Calle	6 7	36,54	24	LM	1928	7 22		6,58
Metlaoui	6 8	34 19	114	C	1912	9 41		6 54
Feriana	6 17	34 57	65	C	1912	9 41		6 53
Souk-el-Arba	6 26	36 30	11	M	1888	11 49		6 50
Cap Serrat	6 45	37 13	5	H	1888	11 46		6 47
Djelma	7 4	35 16	21	TB	1891	11 17		6 33
Bizerte	7 32	37 16	-29	H	1888	11 37	6 37	6 38
"				N	1906	10 7	" 38	
La Manouba	7,44	36 50	-44	M	1888	11 26		6 25
Kairouan	7 45	35 40	-28	TB	1891	11 13		6 27
S'Rira	7 45	34 17	57	H	1888	11 14		6 17
Gabès	7 46	33 53	93	M	1888	11 16	6 21	6 21
"				H	1886	" 15	" 20	
Tunis	7,48	36 49	-49	M	1888	11 27	6 26	6 27
"				TB	1891	" 14	" 27	
"				C	1912	9 18	" 28	
"				C	1922,1	7 48	" 28	
"				C	1924	" 27	" 27	
La Goulette	7,57	36 48	-56	H	1888	11 25		6 24
Ile Plane	7 59	37 11	-54	H	1888	11 29		6 28
Carthago	7 59	36 51	-58	M	1888	11 25	6 24	6 25
"				N	1906	9 54	" 25	
Ungha	8 4	34 28	26	H	1888	11 12		6 14
Herglat	8 10	36 3	-61	H	1888	11 21		6 19
Hammamet	8 16	36 24	-72	H	1888	11 13		6 11
Sousse	8 16	35 50	-61	M	1888	11 14	6 12	6 12
"				H	"	" 14	" 12	
"				C	1912	9 2	" 12	
Sfax	8 25	34 44	-13	M	1888	11 5	6 5	6 6
"				H	"	" 5	" 5	
"				D	1906	9 34	" 6	
"				C	1912	8 55	" 6	
"				C	1922	7 26	" 6	
Bordj Djilidj	8 25	33 53	59	H	1888	11 4		6 8
Monastir	8 30	35 45	-71	H	1888	11 9		6 7
Houmt-Souk	8 32	33 54	51	H	1888	11 0	6 3	5 57
"				C	1912	8 45	5 57	
Sidi Mansur	8 32	34 48	-25	H	1888	11 2		6 2
Ilot Zambretta	8 32	37 6	-87	H	1888	11 12		6 9
Sidi Yussuf	8 38	34 39	-50	H	1888	10 56		5 55
Mahadia	8 44	35 30	-76	H	1888	11 2		6 0
Ras el Hema	8 48	33 31	77	H	1888	10 53		5 57
Ras Kapoudia	8 49	35 14	-68	H	1888	10 55		5 53
Ras Adjir	9 13	33 10	93	H	1888	10 44		5 49

A Nemours, notre mesure de 1932, faite près du point trigonométrique, au N.-E. de la ville, s'accorde à une minute près avec celle de Carnegie en 1912; tandis que notre mesure de 1929, exécutée dans l'Ouest, près du phare, donne un résultat plus faible de 25′, voisin de celui auquel mène la mesure de Teisserenc de Bort en 1891.

Pour Philippeville, où Moureaux (1888) s'était mis au Sud, il y a accord entre sa mesure et celles de Nordmann (1906) et Carnegie (1912); nous plaçant à l'Ouest, vers Stora, localité très voisine, nous avons trouvé une différence de l'ordre de 25′.

Outre les neuf stations qui ont servi de point de départ à cette étude, il en existe un assez grand nombre pour lesquelles l'accord entre les mesures anciennes et récentes est remarquable; c'est ce qui nous a engagé à réduire de la même manière toutes les observations. Il y a cependant des « points névralgiques »: Tiaret, Chellala-Reibell, Ouled Djellal, dont le cas ne pourra être éclairci qu'au prix d'autres mesures (1).

La valeur adoptée dans les stations où l'on dispose de plusieurs observations est, de préférence, la dernière en date; mais cette règle n'a rien d'absolu: on s'est décidé, dans certains cas, pour une moyenne entre toutes les observations ou seulement une partie d'entre elles; le lecteur comprendra sans peine.

Notre tracé des isogones, basé sur un aussi petit nombre de points pour un aussi grand pays, ne saurait prétendre à l'exactitude (2).

Il montre, tout le long du littoral et particulièrement dans les régions de Nemours, Beni Saf, Alger, en grande Kabylie, dans la Kabylie des Babors (Bougie-Djidjelli), vers Philippeville et Bône, des anomalies que M. le professeur Savornin explique par la présence de terrains cristallophylliens, de roches éruptives et de minerai de fer magnétique. Sur la partie nord de la cuvette des grands chotts constantinois, M. Savornin voit dans la boucle de l'isogone 8° vers Ouled Djellal et El Guettar, une apparence de confirmation de ses travaux concernant la géologie du sous-sol, confirmation à laquelle manquent encore des données magnétiques relatives au massif de l'Aurès et aux plaines qui s'étendent entre lui et le chott Melghir.

La variation séculaire s'obtient, dans chaque station, par application de la formule (2): à la variation à Bouzaréah en n années on ajoute $n\,b$. La variation annuelle à Bouzaréah est actuellement de — 8′ environ; celle d'Aïn Sefra est de — 8 + 0,666 = — 7′,3; celle d'Orléansville, de — 8 + 0,411 = — 7,6, etc... En raison de la petitesse de b (tantôt positif, tantôt négatif) dans l'Est du réseau, on y peut prendre partout la valeur — 8′.

Il est peu probable que la différence D—B, qu'on a pu considérer comme proportionnelle au temps depuis 1888, le demeure par la suite. Les formules empiriques que nous avons appliquées n'auront alors plus de valeur; mais peut-être si l'on a suivi, grâce à des mesures convenablement espacées, la variation de D — B en un certain nombre de points convenablement choisis, sera-t-il possible de les transformer de manière à la leur faire traduire encore. Il est malheureusement à craindre que, par suite du développement d'Alger, les observations magnétiques ne deviennent bientôt plus praticables à Bouzaréah.

Nous avons dit un mot, au début, de la variation diurne qui, faute d'installation fixe, n'a pas été étudiée, et que l'on a déduite de la variation diurne au Val Joyeux, donnée dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes, par application d'un coefficient proportionnel à la différence de latitude avec le Val, dont voici la valeur:

Latitude:	30°	32°	34°	36°	38°
Coefficient:	0,61	0,65	0,69	0,73,	0,77

Peut-être pourra-t-on dans peu de temps adopter pour cet élément des valeurs tirées de la comparaison de l'enregistrement dans la nouvelle station centrale française de magnétisme avec celui qui a commencé à fonctionner à Tamanrasset.

Territoires du Sud

Nous n'avons à nous occuper ici que du Sahara proprement dit, le Présahara, c'est-à-dire la partie des Territoires du Sud qui est au Nord du parallèle d'El Goléa, ce point étant compris dans l'exposé qui précède.

L'ensemble de données le plus important est dû à la mission Carnegie de 1912-1913 (Berky et Sawyer). Il a trait à un itinéraire qui va de Biskra à Tombouctou par Ouargla, El Goléa, In Salah, Tamanrasset, Tin-Zaouaten, Gao (voir la carte en annexe).

Foureau (1900), Villatte (1904 et 1909). Nieger (1909) s'étaient déjà occupés de magnétisme pendant leurs explorations.

(1) Les trois données de Tiaret seraient reliées avec $b=0{,}210$ au lieu de 0,569. La formule II est en défaut, mais peut-être ne s'agit-il que d'une apparence, due à la distribution de D autour de la ville.

(2) Bien que ne disposant pas de données récentes en Tunisie, il nous a paru intéressant de prolonger la carte pour ce pays, à cause du parfait accord qu'y présentent les mesures faites à différentes époques, ramenées à 1931,0.

En 1930, 1932, 1933, M. Lasserre et Mlle Malbos ont fait, pour la création de l'Observatoire de Physique du Globe de Tamanrasset, trois voyages, dont un avec retour par Amguid, Djanet, Ouargla, au cours desquels des mesures qui ont permis la réduction à 1931,0 des résultats obtenus jusqu'à aujourd'hui.

En fin 1934, M. Dubief a effectué quelques observations sur la piste Tamanrasset-In Guezzam.

Le mémoire de Mlle Homery sur la « Déclinaison en Afrique Occidentale et Equatoriale françaises » contient toutes les données anciennes (1). Il n'a pas paru utile de reproduire dans le détail les résultats récents, la carte indiquant pour chaque point la valeur de D, seule intéressante.

La méthode adoptée pour la réduction à 1931,0 est celle des cartes de variations. Les données relatives à l'Afrique du Nord, reliées dans le temps comme il a été expliqué, ont permis d'assurer le départ des courbes, dont le tracé a été complété d'après nos observations. Il y a eu quatre cartes, relatives aux campagnes 1904, 1909, 1912, 1913. Elles ont conduit, pour les stations où il y a eu plusieurs mesures, à des concordances très satisfaisantes.

Outre l'isogone 8°30′, assez bien connue, grâce surtout aux travaux américains, on a pu tracer quelques tronçons d'isogones voisines.

(1) Une erreur s'est glissée dans ce mémoire en ce qui concerne le signe de la longitude des points Niger figurant à la page 123 : ils sont non à l'Est, mais à l'Ouest du méridien de Paris.

Au Hoggar, le champ est très accidenté. M. Savornin y trouve notamment, vers Tamanrasset et Arak, une concordance marquée entre les méandres des isogones et la structure géologique. La boucle de l'isogone 8°, qui se voit au Nord de Tamanrasset, dessine à peu près le contour du plateau central volcanique de la Koudia.

La réduction de D aux dates postérieures à 1931,0, pour les localités au sud du 28e parallèle, peut se faire approximativement en appliquant la variation séculaire de Tamanrasset. Sa valeur annuelle qui, d'après les mesures de Carnegie en 1912 et les nôtres en 1930 et 1932, était d'environ —8′, est en décroissance : l'enregistreur lui assigne, pour 1934, la valeur provisoire — 4′. On peut admettre, pendant l'intervalle 1931,0 — 1935,0, une diminution globale de D de l'ordre de 23′.

Les nombres que voici donnent une idée de la variation diurne au même point, exprimée en minutes :

T M G :

	6h	8h	10h	12h	14h	15h	18h
	—	—	—	—	—	—	—
Décembre 1933..	0	-0,5	0	1,5	1	0	0
Juillet 1934.....	-2,5	-3	0	2	2,5	1,5	0,5

L'amplitude est de 2′ en décembre et de près de 6′ en juillet et pendant toute la saison chaude. Le minumum est, en été, plus accentué que le maximum.

A. Lasserre,

Directeur de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie.

ANNEXES

Le lecteur voudra bien trouver ci-contre, en annexes, deux cartes relatives à la déclinaison en Algérie et dans les Territoires du Sud de l'Algérie pour l'année 1931,0, ainsi que deux tableaux, se rapportant, l'un, à la détermination de la valeur D — B, l'autre, aux valeurs de la déclinaison à Bouzaréah, d'une part, et dans les stations de l'Algérie et des Territoires voisins, d'autre part.

Les mouvements généraux de l'air atmosphérique au-dessus des Colonies françaises

(Suite et fin) (1)

Les observations de Madagascar

La caractéristique du régime des vents de Madagascar, par rapport à celui des autres grandes colonies, est l'irrégularité. La masse de l'île est trop faible pour déterminer une mousson nette et permanente en saison chaude, et les reliefs sont, par contre, suffisants pour déformer l'alizé.

I. — Fort-Dauphin

Le nombre des sondages de 1933 est trop petit pour permettre de construire des graphiques. En s'aidant des observations de 1934, on peut toutefois se faire une opinion sur les courants aériens, en raison de la simplicité des faits observés.

On limitera les renseignements donnés ici aux deux mois d'août et janvier.

Dans la période fraîche de l'année, le vent au sol est de Nord à Nord-Est jusqu'à 3.000 mètres de hauteur au moins. Il alterne, par périodes variables, avec un vent d'Est, qui paraît avoir la même extension en altitude.

Avec le R. P. Poisson, on peut considérer que le vent du Nord à Nord-Est est une déviation de l'*alizé du Sud-Est*, lequel souffle en permanence dans l'Océan Indien sous cette latitude, cette déviation étant produite par l'obstacle que constituent les montagnes de l'île. On pourrait peut-être aussi concevoir la direction de ce vent comme étant la résultante de la courbure particulière imprimée aux filets d'air à la limite orientale du centre d'action de l'Océan Indien.

On retrouve à Fort-Dauphin, dans les parties supérieures de l'alizé, des lambeaux de vents d'Est, dont il semble préférable de faire un courant particulier, comme on le verra par la suite.

Au-dessus de ces vents du Nord (et Nord-Est) et d'Est, se place un courant aérien très régulier, au moins jusqu'à 9.000 mètres ; sa direction est Nord-Ouest à Ouest. C'est évidemment le contre-alizé (1). Il peut descendre jusqu'à quelques centaines de mètres d'altitude, parfois même jusqu'au sol.

Les sondages ont révélé, en outre, au-dessous du contre-alizé, la présence, temporaire, sur 1.000-1.500 mètres de hauteur, d'un vent du Sud. Peut-être s'agit-il d'éléments de l'air polaire arrivant jusqu'à cette latitude.

La répartition des vents de la saison chaude (janvier) est très semblable à celle de la saison froide, ce qui s'explique par la situation de Fort-Dauphin, au delà du tropique, dans une région océanique bien dégagée.

Au sol, et jusqu'aux environs de 2.000-3.000 mètres, vent de Nord-Nord-Est à Est-Nord-Est (dérivation de l'alizé). Au milieu de ce courant, vers 2.000 mètres, lambeaux isolés de vent d'Est. De 2.000 ou 3.000 mètres jusqu'à 7.000 au moins, courant du Nord-Ouest à Ouest (contre-alizé), susceptible, en cette saison également, de descendre jusqu'au sol. Enfin, présence, par intermittences, entre le sol et 3.000 mètres, d'un vent du Sud-Ouest, dont il est difficile de préciser l'origine (air polaire ?).

II. — Les graphiques de Tamatave

La saison sèche (mars-octobre) est caractérisée : 1° Par un vent du Sud de 0 à 6.000 mètres —

(1) Voir le N° 7, 1935. Certains des graphiques présentés dans cette étude ont été établis par M. Foissy, météorologiste de l'A. O. F.

Dans le N° 7 (1935) le paragraphe du présent article se rapportant au *Khamsin* à la Côte française des Somalis a été placé, par erreur, à la suite de la série des vents d'octobre à avril, et non de celle des vents d'avril à octobre. C'est à cette dernière qu'il appartient en effet.

(1) Il semble que l'existence du contre-alizé à Madagascar, bien que considérée comme probable, n'avait point été prouvée jusqu'à présent (Cf. R. P. Poisson, Météorologie de Madagascar, p. 210).

parfois 8.000. C'est l'alizé dévié vers le Nord par le rebord oriental du massif montagneux de l'île ;

2° En altitude, vent d'Ouest qui paraît permanent vers 8.000 mètres et dont la base, très mobile, s'abaisse d'ordinaire jusqu'à 2.000-3.000 mètres, parfois aussi jusqu'à quelques centaines de mètres seulement du sol (contre-alizé) ;

3° Très irrégulièrement localisé dans l'espace, un vent du Nord, dont la présence demeure inexpliquée ;

4° Dans une zone comprise entre 1.000 et 3.000 mètres, et susceptible de s'étendre beaucoup plus haut, un vent d'Est. Il ne souffle également que par intermittence ; par exemple, il se substitue au vent du Sud lorsque celui-ci fait défaut, ou bien encore, il se place entre celui-ci, localisé près du sol, et le contre-alizé, développé en altitude.

On peut considérer ce vent d'Est comme étant l'alizé, mais il semble préférable d'en faire un courant spécial, ainsi qu'il sera dit plus loin.

Dans ces conditions, on voit qu'en gros la distribution des vents en saison fraîche rappelle ainsi ce qu'on observe en A. O. F. et en Indochine.

Pour la période octobre-mars, les conditions sont les suivantes :

1° Vent du Sud entre 0 et 6.000 mètres, très intermittent (huitaine de jours par mois) : alizé ;

2° Par lambeaux, vent d'Ouest supérieur (contre-alizé ?) ;

3° Entre 1.000 et 3.500 mètres, parfois à partir du sol, vent d'Ouest. C'est probablement la mousson qui a alors, exceptionnellement, la même direction qu'à Majunga ;

4° Au voisinage du sol et parfois jusqu'à un millier de mètres, parfois aussi jusqu'à 10.000 mètres, un vent du Nord. Comme on le sait par les travaux du P. R. Poisson sur les vents au sol, il s'agit de la mousson qui, dans ces parages, a une orientation particulière ;

5° A des altitudes moyennes, mais pouvant atteindre 8.000 mètres, vent d'Est. Celui-ci, le même que celui de la saison fraîche, est superposé à la mousson lorsque celle-ci n'occupe que quelques centaines de mètres au-dessus du sol. Il est susceptible aussi d'alterner avec l'alizé, mais se trouve plutôt au-dessus de ce dernier, du moins quand celui-ci n'occupe pas une tranche d'atmosphère trop considérable.

On retrouve, là encore, des conditions rappelant celles de l'A. O. F., celles de Dakar, en particulier, pendant les périodes de transition, et cela se conçoit bien puisque la masse de la Grande Ile, beaucoup plus petite que celle de l'Afrique Occidentale, doit avoir une influence propre beaucoup moins marquée sur les vents et ne peut leur imprimer un régime aussi constant. C'est d'ailleurs une règle générale, à Madagascar, que les courants soufflant au sol, s'ils sont susceptibles d'occuper une tranche d'atmosphère considérable, sont, par contre, assez intermittents.

III. — Les graphiques de Diégo-Suarez

Les vents de cette localtié, en avril-octobre, viennent des directions suivantes :

1° Sud à Sud-Est, entre le sol et 2.000 à 4.000 mètres : alizé (fort rare) ;

2° Est, du sol à 6.000 mètres — et souvent bien au-delà. C'est le même courant qu'à Fort-Dauphin et Tamatave, mais beaucoup plus puissant ;

3° Vents supérieurs du Nord et, plus rarement, de l'Ouest (3.000 à 10.000 mètres) : contre-alizé.

C'est, en somme, à des détails près, la distribution de Tamatave. Le courant du Sud disparaît toutefois au profit de celui de l'Est.

On a très peu d'observations pour la période novembre-avril. Elles montrent surtout l'importance du vent d'Ouest au sol, la mousson.

En somme, les observations faites tout le long de la côte Est sont très concordantes. La seule complication au point de vue de l'interprétation est relative au vent d'Est.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, on peut l'identifier à l'alizé, d'autant plus que celui-ci offre toutes les directions entre le Nord et le Sud, par l'Est. Mais la constance de direction du vent d'Est, en altitude et dans les basses latitudes (en opposition avec les variations de direction de l'alizé), les discontinuités fréquentes entre l'alizé et le vent d'Est, en dépit de passages progressifs probables, les différences du mécanisme de ces deux vents (la pression n'intervenant guère dans l'activité du courant d'Est), inclinent à en faire deux courants différents : l'un, l'alizé en relation avec le centre d'action de l'Océan Indien ; l'autre, rattaché à ce qui a été désigné ici sous le nom de courant équatorial.

Ce dernier, formé nécessairement avec des filets d'air empruntés à l'alizé, se développe progressivement depuis la latitude de Fort-Dauphin jusqu'à celle de Diégo-Suarez. Il finit en biseau vers le Sud, à la manière de ce qui a été observé dans l'autre hémisphère.

IV. — Les graphiques de Majunga

Dans cette station, il y a toute l'année des vents irréguliers (Nord, Sud et surtout Ouest), toujours localisés au voisinage du sol. Ce sont des brises.

Outre celles-ci, on observe, de novembre à mars :

1° Un vent du Sud, très rare, pouvant s'étendre jusqu'à 7.000 mètres et au delà (alizé) ;

2° Un vent d'Est, à peu près constant, atteignant 5.000 mètres, et parfois 9.000 à 10.000 mètres (courant équatorial) ;

3° En altitude, un vent d'Ouest et quelquefois du Nord, surmontant le vent d'Est, mais dont la base peut descendre à 3.000 mètres, parfois jusqu'au sol (contre-alizé).

Les vents d'octobre à mars viennent :

1° De l'Ouest (ou, rarement, du Nord), au sol, parfois jusqu'à 8.000 mètres (mousson) ;

2° Du Nord, en altitude, au-dessus de 2.000 mètres, peut-être lambeaux du contre-alizé (rare) ;

3° De l'Est, alternant alors avec les vents soufflant au sol ou superposés à ceux-ci (courant équatorial).

V. — Les graphiques de Tananarive

Pendant la période mars-novembre, on observe :

1° Largement dominant, un vent d'Est, au sol, susceptible de s'élever jusqu'à 6.000 mètres, mais d'ordinaire localisé à moins de 3.000 (courant équatorial) ;

2° Un vent du Sud, alternant avec le précédent, et soufflant surtout au début ou à la fin de la saison (alizé) ;

3° En altitude, un vent d'Ouest (contre-alizé), très régulier, normalement superposé au vent d'Est. Les graphiques des vitesses mettent en évidence l'opposition de ces deux vents.

D'octobre à mars, le vent dominant est celui d'Est (courant équatorial) ; il peut s'étendre jusqu'à 10.000 mètres de hauteur. Les autres vents au sol viennent de l'Ouest ou du Nord ; ils sont très irréguliers, le premier étant toutefois plus fréquent. Ces deux vents sont sans doute à rapporter à la mousson, à laquelle le relief impose de fortes déviations, et empêche fréquemment l'accès direct des hauts plateaux. On ne l'y trouve, en effet, qu'à de courts intervalles, alternant avec le vent d'Est, et quelquefois au-dessus de celui-ci, ce qui est contraire aux observations de Majunga. Cette anomalie est difficile à expliquer.

Certains lambeaux de vent d'Ouest en altitude sont peut-être à rapprocher du contre-alizé.

VI. — Examen d'ensemble des observations de Madagascar

On a essayé, ici encore, de traduire par des coupes la répartition générale des courants aériens de l'île pour janvier et juillet (Voir N° 7, 1935, page 21).

La situation en saison fraîche est simple :

1° Un alizé dont le plafond s'abaisse de part et d'autre de la latitude de Tamatave et qui, suivant des latitudes décroissantes, a successivement des directions Nord, Est, puis Sud à Sud-Est ;

2° Un contre-alizé dont la direction, dans le sens des latitudes croissantes, passe progressivement du Nord à l'Ouest, en même temps que son plafond s'abaisse ;

3° Entre ces deux courants ,un vent d'Est, qu'on peut considérer comme une simple déviation de l'alizé, mais qui, pour des raisons déjà développées plus haut, se comprend mieux comme une portion du courant équatorial. Il se relie à celui-ci vers le Nord, en s'épanouissant, tandis qu'il s'amenuise vers le Sud pour finir en biseau.

En hivernage, certaines particularités viennent s'ajouter aux caractères précédents. Elles sont, toutefois, assez mal différenciées, parce que la masse continentale, peu étendue, a une influence propre assez réduite.

C'est ainsi que l'alizé et le contre-alizé, qui soufflent toute l'année à Fort-Dauphin, ne disparaissent pas complètement du reste de l'île pendant l'hivernage. La mousson elle-même ne s'observe alors que d'une façon assez intermittente, sauf peut-être dans le Nord et le Nord-Ouest de l'île. Bien mieux, la mousson est susceptible de s'élever au-dessus du vent d'Est à Tananarive.

On retrouve finalement dans le schéma des coupes les éléments signalés pour l'Afrique continentale et l'Indochine, mais la répartition des courants est plus floue et plus irrégulière (1), parce que les influences océaniques affaiblissent ou annulent fréquemment les influences continentales à Madagascar.

---

(1) C'est cette irrégularité qu'on s'est efforcé de traduire sur les coupes en représentant certains courants d'une façon interrompue. Les alternances ont, toutefois, été exagérées pour les mettre mieux en évidence.

Les observations de la Réunion

On ne possède pas encore de sondages pour cette colonie.

On sait que le vent dominant au sol, en toutes saisons, est l'alizé du Sud-Est. On comprend d'ailleurs, étant données les dimensions restreintes de l'île, que le régime des moussons n'y soit pas sensible. Si l'on observe quelquefois un vent analogue, il est dû très probablement à l'entraînement de masses d'air, par viscosité, au voisinage de la mousson de Madagascar.

Les observations faites simultanément à Saint-Denis par M. Jean, professeur au lycée, et à la Caverne Dufour par M. de Monts, chef du Service météorologique, ont montré qu'au vent du Sud-Est au sol se superposait, à moins de 2.400 mètres, un vent d'Est. Ce sont, en somme, les caractères signalés pour Madagascar. Reste à savoir s'il y a, entre les deux vents, passage progressif ou discontinuité.

Les observations de Maurice montrent que le contre-alizé souffle en altitude toute l'année dans ces parages, mais aucune étude directe n'a pu encore être faite à la Réunion au sujet de ce courant.

Les observations des Etablissements français de l'Océanie

Les premiers sondages aérologiques, commencés en 1934, ont montré qu'au printemps le vent dominant vient de l'Est et qu'on l'observe jusqu'à 10.000 mètres. Sur 7.000 ou 8.000 mètres, à partir du sol, peut souffler aussi un vent d'Ouest, au moins pendant de courtes périodes. Enfin, de temps en temps, à des altitudes variées, on a des vents du Nord ou du Sud.

Une étude générale est tout entière à faire. Les premiers renseignements qu'on possède inclinent à considérer qu'on est dans une situation très comparable à celle de la Martinique (1), ce que les conditions géographiques des Etablissements français de l'Océanie rendent fort vraisemblable.

La circulation générale de l'atmosphère dans la zone intertropicale

Bien que les colonies françaises soient loin d'occuper la totalité de la zone intertropicale, leur répartition sporadique, d'une part, la symétrie, par rapport à l'équateur, des observations faites, d'autre part, permettent d'essayer de se faire une opinion sur ce que peut être la circulation générale de l'atmosphère dans cette zone.

Pour les régions océaniques (Martinique, Océanie), la preuve est faite de l'existence au sol de l'alizé, dévié par la rotation terrestre, jusqu'à une direction très voisine de l'Est. Cette déviation paraît se produire plus près du tropique en altitude que dans les parties basses de la troposphère.

La tranche verticale d'atmosphère occupée par l'alizé paraît augmenter depuis son origine, vers le 30e parallèle, jusqu'à une certaine latitude, variable suivant les régions considérées (15e au 20e parallèle, par exemple) pour diminuer ensuite progressivement.

Cet alizé est dû à une action de soufflerie. Un mouvement d'aspiration, déterminé par le voisinage d'un continent (effet mousson) peut apporter des déviations importantes à sa direction primitive et annuler ou renverser la déviation normale provoquée par la rotation terrestre (direction N. à N.-W. pour Dakar, S.-W. à W. pour l'Afrique Equatoriale Française et le Cameroun).

Dans les endroits où l'alizé est parvenu à atteindre la direction Est, il perd rapidement son individualité, ses filets d'air constituant alors un courant d'Est, ou courant équatorial, d'autant plus développé que la latitude diminue (sa hauteur peut dépasser 15.000 mètres vers l'équateur). L'alizé et le courant équatorial sont d'ailleurs susceptibles d'être séparés par des discontinuités marquées qui s'exagèrent dans les régions continentales, probablement en proportion de la dimension de celles-ci (1).

Sous les latitudes et dans les régions où l'alizé a conservé son individualité, on observe, en altitude, le contre-alizé, dont la direction, méridienne vers l'équateur, passe à l'Ouest vers les tropiques. La base de ce courant s'abaisse progressivement quand la latitude augmente.

Au voisinage des tropiques, le contre-alizé et l'alizé sont jointifs pendant la saison froide (Fort-Dauphin, Port-Etienne), mais il ne semble pas qu'il y ait entre eux des échanges d'air appréciables (2).

Aux latitudes plus basses, l'alizé est séparé du contre-alizé par un coin de vent d'Est, qui marque

(1) Compte tenu, toutefois, du fait qu'il s'agit d'un hémisphère différent.

(1) Ces discontinuités, sans doute faibles au-dessus des petites îles océaniques, sont plus marquées à Madagascar, davantage encore en Indochine, et exceptionnelles en Afrique continentale.

(2) Ces deux courants ne sont normalement jointifs, en saison chaude, que plus loin au delà des tropiques.

la dernière extension du courant équatorial vers les tropiques.

Les échanges d'air peuvent être faciles, *latéralement*, d'une part, entre l'alizé et le courant équatorial, dans les parties basses de la troposphère ; d'autre part, entre le courant équatorial et le contre-alizé, dans les parties hautes ou moyennes de la troposphère. La circulation de l'air du trentième parallèle à l'équateur et retour se ferait ainsi, non pas simplement par l'alizé et le contre-alizé, souvent localisés à des latitudes assez élevées, mais par l'alizé, le courant équatorial et le contre-alizé.

Ces passages latéraux se produisent vraisemblablement par bouffées, et plutôt dans les régions où les limites communes à deux courants sont moins précises, c'est-à-dire là où l'un au moins des courants n'a qu'une vitesse propre réduite.

Dans ces régions, les brassages dus aux courants ascendants peuvent alors faciliter les passages de l'air d'une zone à l'autre. Il serait toutefois inexact de penser que les passages verticaux s'observent partout et en toute saison, car, même dans les contrées où les différences de température d'un courant à l'autre sont favorables aux mélanges verticaux, les vitesses propres à chacun des courants rendent difficiles ces mélanges. Bien entendu, ces derniers n'ont même pas à être envisagés dans les contrées où les inversions de température se produisent à la limite de deux courants superposés.

Les limites communes aux différents courants subissent en latitude — voire en altitude — un balancement en relation avec la déclinaison du soleil. C'est ainsi que l'alizé et le contre-alizé notamment sont relégués à des latitudes plus hautes pendant la période froide de chaque hémisphère.

Dans les régions continentales, et c'est en particulier le cas pour les grandes colonies, il y a des modifications notables à ce schéma général (1).

D'abord l'extension de l'alizé, en latitude et en altitude, y est plus réduite, du fait du réchauffement plus rapide des masses continentales qui provoquent des courants ascendants faisant obstacle à la circulation latérale de l'air vers l'équateur.

Il y a aussi, dans la période où le soleil est voisin du zénith, production d'une mousson, en relation avec la déclinaison du soleil, et dont le développement et la régularité sont influencés par l'étendue de la masse continentale réchauffée.

Le courant équatorial est mieux individualisé que dans les parties océaniques. Il s'étend au-dessus soit de la mousson, soit de l'alizé, ou encore se manifeste jusqu'au sol, suivant la saison et la région considérées. Il remplit en quelque sorte les vides laissés par l'alizé, la mousson et le contre-alizé. En Afrique continentale, il a acquis une individualité exceptionnelle ; il y est connu sous le nom d'*harmattan*.

Enfin, un vent d'Ouest, mal défini, a été observé, en hivernage, jusqu'aux environs du 4e parallèle, en Afrique occidentale et équatoriale, au-dessus du vent d'Est (courant équatorial). On a très peu de renseignements à son sujet. Peut-être se rattache-t-il au contre-alizé, bien qu'il ait une direction anormale pour un tel courant sous ces latitudes et que le contre-alizé doive plutôt se manifester, à cette époque, au delà du tropique. Dans l'*hypothèse* où l'on aurait cependant affaire au contre-alizé, celui-ci devrait être considéré comme évacuant encore, en hivernage, à partir de latitudes beaucoup plus basses qu'en hiver, l'air supérieur des régions équatoriales vers le 30e parallèle.

Plus nettement encore que pour la saison sèche, il est évident que ce vent d'Ouest supérieur n'est pas nourri directement par l'alizé. Il ne peut l'être que par les filets d'air provenant du courant équatorial, *et cela latéralement et sous une latitude très voisine de l'équateur*, le passage vertical des filets d'air de l'harmattan dans ce courant d'Ouest, en *hivernage*, étant pratiquement impossible, par exemple, au-dessus de l'Afrique Occidentale, du fait de la forte inversion de température qui y caractérise la limite commune à ces deux courants.

La présence, au-dessus du courant équatorial, en Afrique occidentale et équatoriale, du courant supérieur d'Ouest en hivernage, et du contre-alizé, en hiver, écartent l'idée que ce courant équatorial soit directement produit par la rotation terrestre, comme Hildebrandsson l'avait indiqué autrefois.

Les limites communes à deux courants contigus subissent constamment des variations importantes, soit en altitude, soit au sol. En outre, des modifications locales, parfois profondes, dans le dispositif général donné ci-dessus, sont apportées par des brises, par des perturbations, etc.

Ce dispositif présente cette particularité de n'être pas en opposition avec la plupart des idées — souvent très différentes — émises jusqu'à ce jour sur la circulation générale de l'atmosphère. Il paraît même concilier les principales d'entre elles, comme cela ressort du tableau ci-contre.

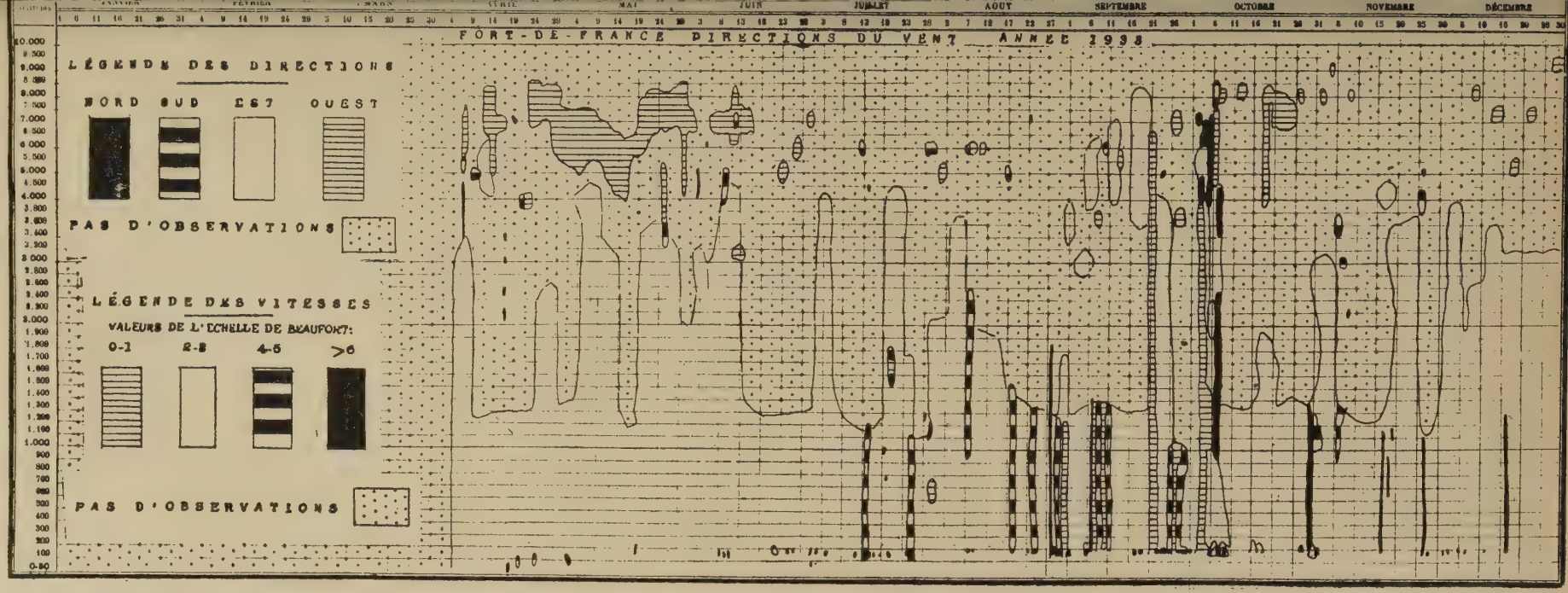
(1) Voir dans le N° 7 (1935) les figures de la page 21.

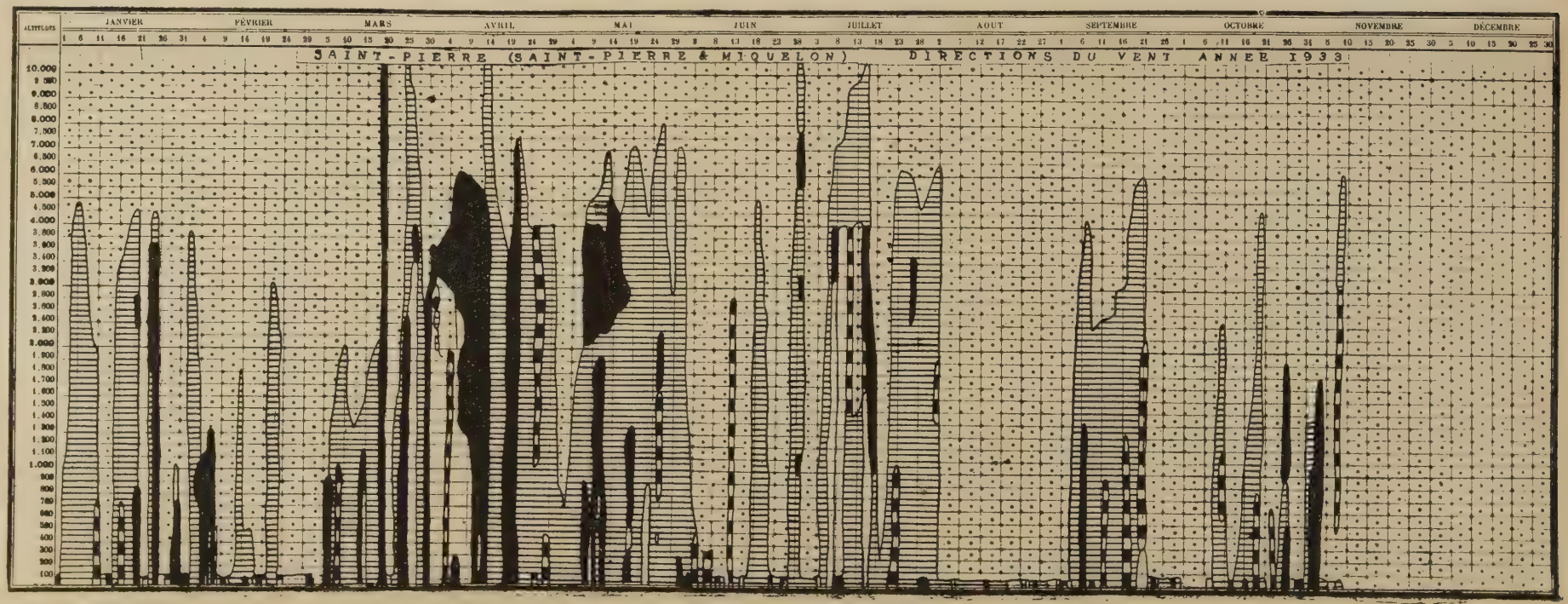
Point de vue présenté par différents auteurs	Indications résultant du schéma introduit dans le présent mémoire
Le vent d'Est (harmattan) de l'Afrique Occidentale est différent de l'alizé (H. Hubert, 1912).	Spécifiquement, ces deux vents sont essentiellement différents. S'ils existent tous les deux en un même point, ils ne se mélangent pas, mais se superposent l'un à l'autre, avec une surface de discontinuité très nette. On n'observe pas, en Afrique Occidentale, de passage direct, régulier, normal, de l'alizé à l'harmattan.
Le vent d'Est (harmattan), en Afrique, est l'alizé (Lexique météorologique de l'O. N. M., 1928).	Si les deux vents sont, de toute évidence, différents, il est, par contre, naturel de penser que l'harmattan, en tant qu'élément du courant équatorial, est nourri par des filets d'air empruntés à l'alizé, soit l'alizé méridional, soit l'alizé septentrional. Dans ce dernier cas, toutefois, il ne semble pas que ces emprunts soient réalisés sur le continent africain, mais en dehors de celui-ci.
L'alizé d'un hémisphère se prolonge au delà de l'équateur et se glisse au-dessous de l'autre alizé (Defant, 1929).	Cela peut être localement exact, mais il est probable que le cas le plus général est celui où le vent supérieur n'est plus spécifiquement un alizé, mais bien le courant équatorial, lequel a dû être nourri par des filets d'air, provenant de l'un et l'autre alizés (méridional et septentrional).
Il existe tout autour de la terre un courant d'Est (Hildebrandsson, 1902).	Ce courant existe effectivement et se développe dans les régions équatoriales jusqu'à une altitude d'au moins 15 kilomètres. Son existence ne fait pas obstacle à celle des alizés, lesquels fournissent les filets d'air qui l'alimentent. Ce courant équatorial, qui vient de l'Est, n'est pas déterminé — du moins directement — par la rotation de la terre, puisqu'il peut exister des courants d'Ouest au-dessus de lui (1).

Henry Hubert.

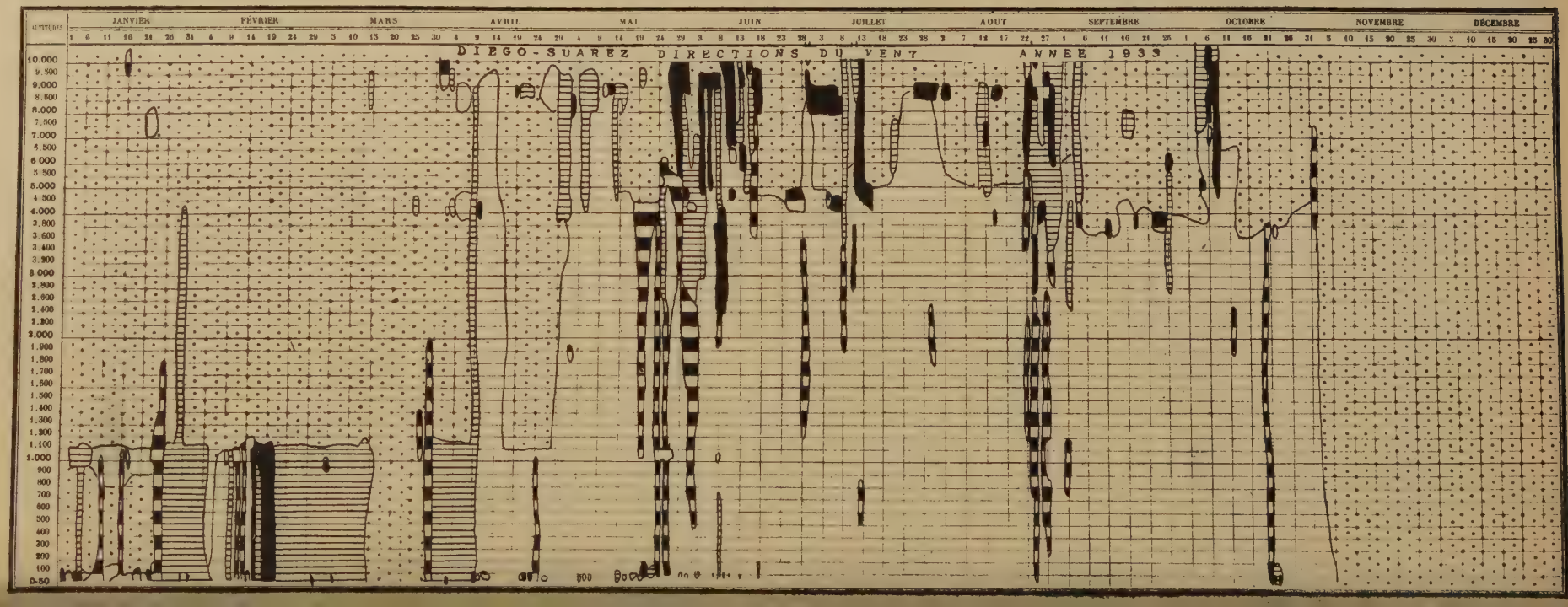
(1) Dans les figures schématiques de la page 21 (N° 7, 1925), les coupes concernant Madagascar passent à Fort-Dauphin, Diégo-Suarez, et un peu à l'Est de Tananarive. Le relief très particulier de l'île, le long de cette coupe, rend fort difficile une interprétation correcte de la répartition des courants aériens. Le dessin qui a été donné est très simplifié.

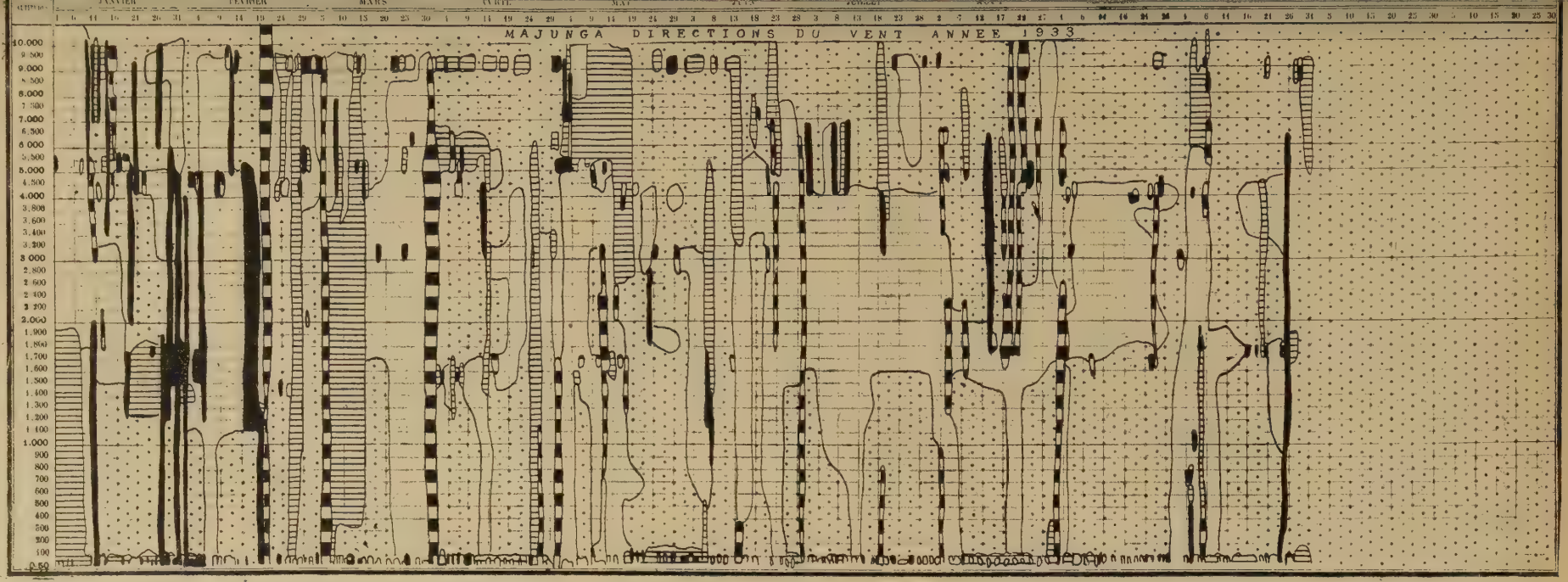
Une coupe faite le long du littoral de l'Océan Indien aurait été plus compliquée, en ce sens qu'elle eût montré une extension beaucoup plus grande de l'alizé en altitude à la hauteur de Tamatave, et l'abaissement progressif du plafond de ce courant de part et d'autre de cette localité.

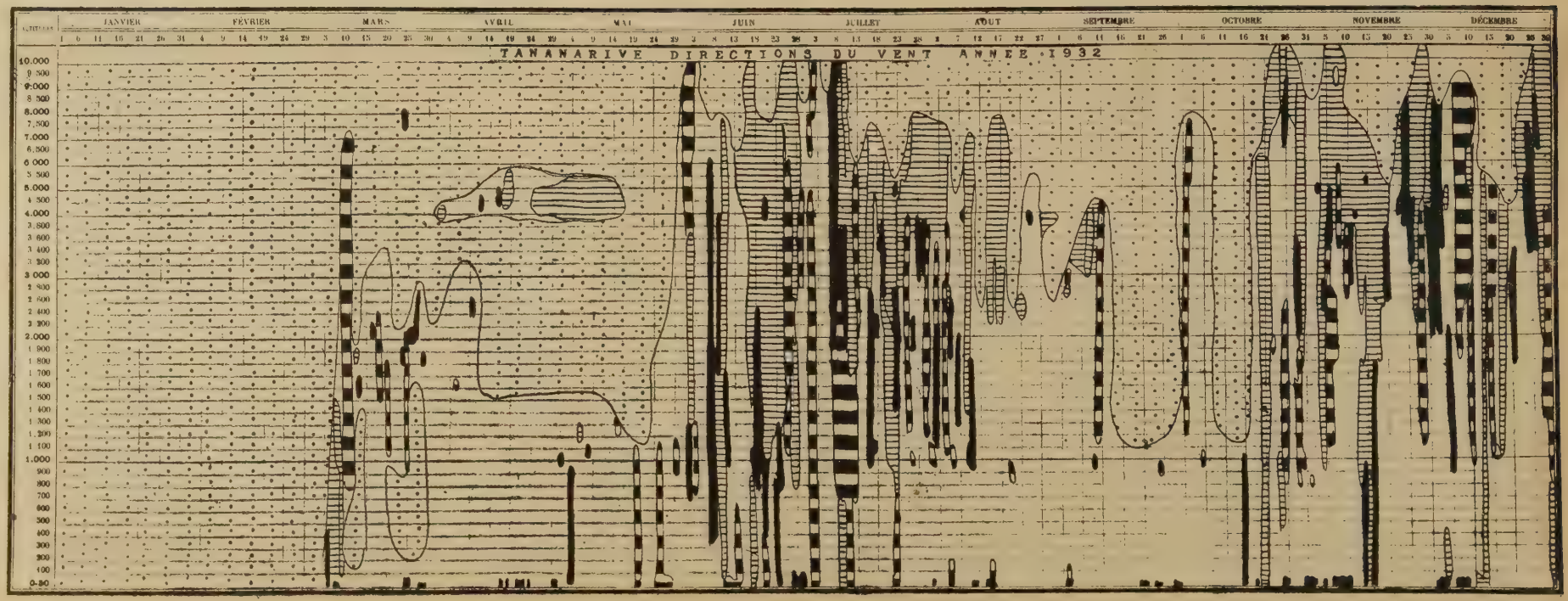

FORT-DE-FRANCE DIRECTIONS DU VENT ANNEE 1933
LÉGENDE DES DIRECTIONS
NORD SUD EST OUEST
PAS D'OBSERVATIONS
LÉGENDE DES VITESSES
VALEURS DE L'ECHELLE DE BEAUFORT:
0-1 2-3 4-5 >6
PAS D'OBSERVATIONS
JANVIER FÉVRIER MARS AVRIL MAI JUIN JUILLET AOUT SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DÉCEMBRE

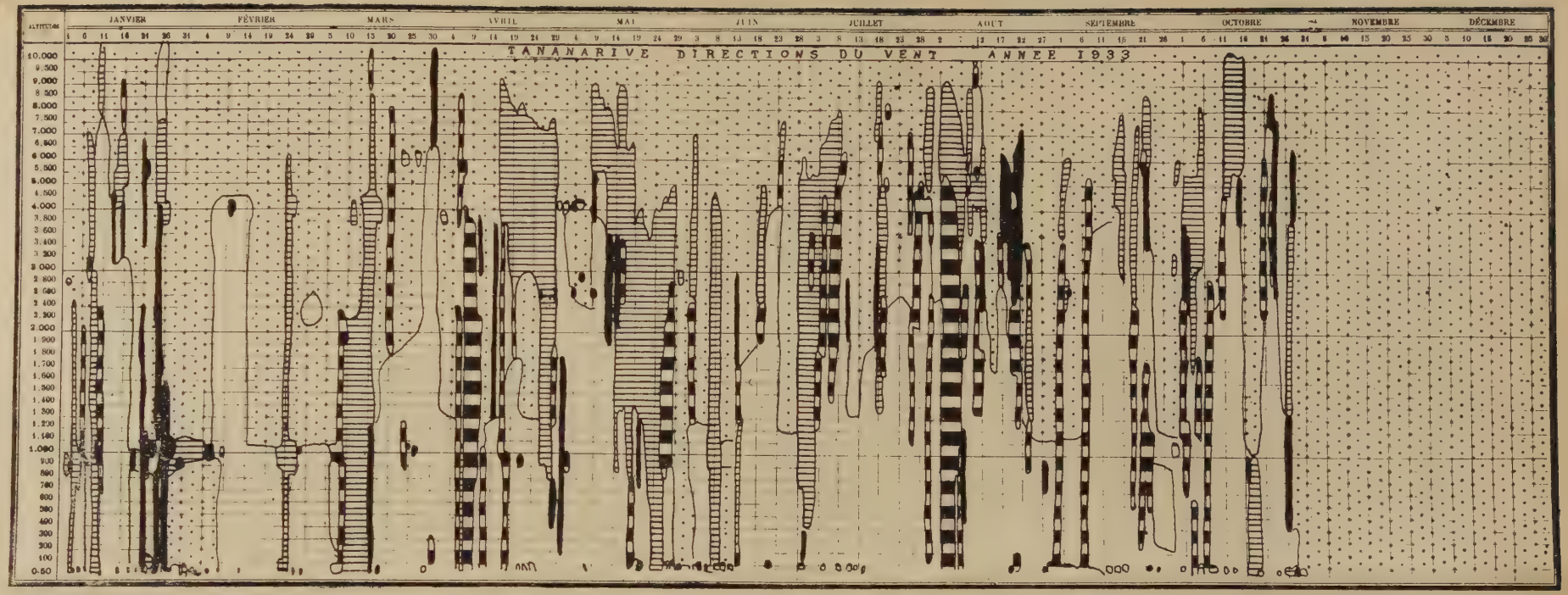

SAINT-PIERRE (SAINT-PIERRE & MIQUELON) DIRECTIONS DU VENT ANNEE 1933
JANVIER FÉVRIER MARS AVRIL MAI JUIN JUILLET AOUT SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DÉCEMBRE

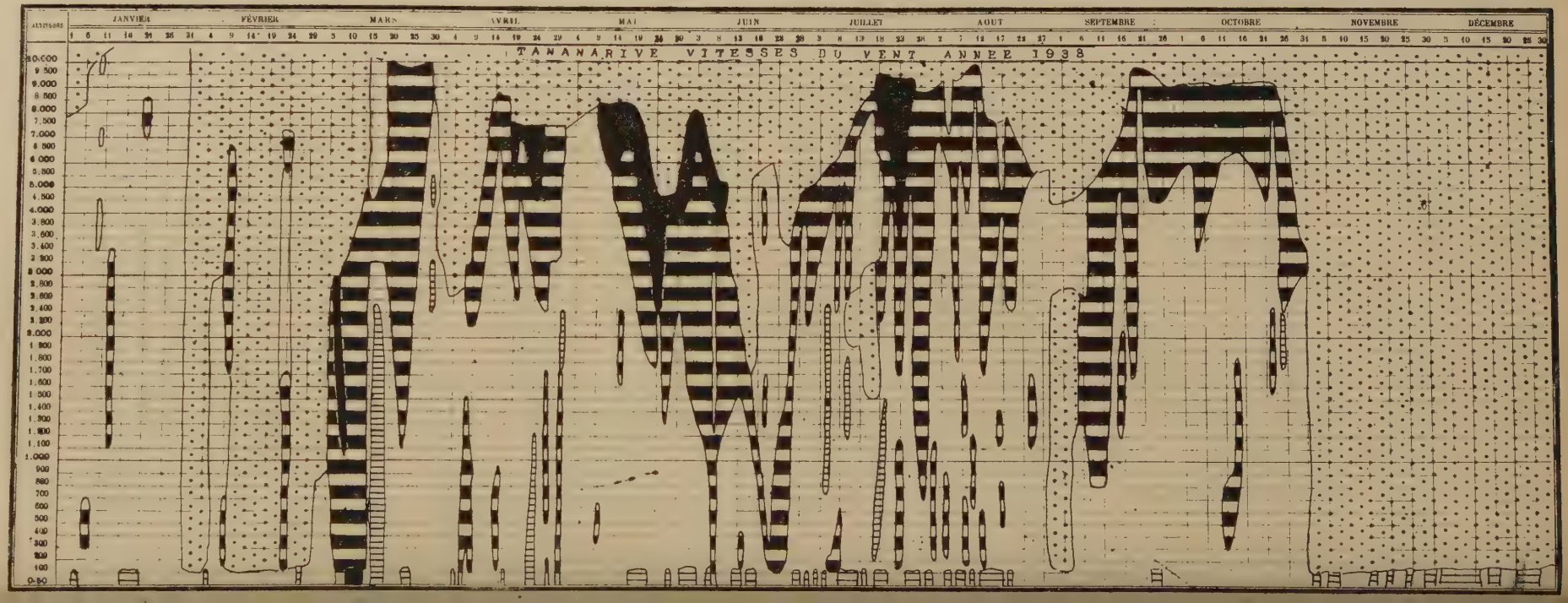
TAMATAVE DIRECTIONS DU VENT ANNEE 1933
JANVIER
FÉVRIER
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
DÉCEMBRE


DIEGO-SUAREZ DIRECTIONS DU VENT ANNEE 1933
JANVIER
FÉVRIER
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
DÉCEMBRE


MAJUNGA DIRECTIONS DU VENT ANNEE 1933
JANVIER
FEVRIER
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
DÉCEMBRE


TANANARIVE DIRECTIONS DU VENT ANNEE 1932
JANVIER
FEVRIER
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
DÉCEMBRE


TANANARIVE DIRECTIONS DU VENT ANNEE 1933
JANVIER
FÉVRIER
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
DÉCEMBRE


TANANARIVE VITESSES DU VENT ANNEE 1938
JANVIER
FÉVRIER
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
DÉCEMBRE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES BALLONS DE SONDAGE DESTINÉS AUX COLONIES

Les éclatements prématurés

Les sondages aérologiques par ballons pilotes ont acquis, au cours des dernières années, une importance considérable dans les colonies françaises.

Ils permettent, en effet, par l'étude systématique des courants atmosphériques aux différentes altitudes, d'assurer la protection de la navigation aérienne de façon plus efficace que les observations au niveau du sol, et apportent, en outre, de précieuses données à l'étude des lois régissant les déplacements des masses d'air qui nous entourent.

Toutefois, leur utilité n'apparaît complète que s'ils peuvent être exécutés jusqu'à des altitudes élevées à l'instant précis des déplacements aériens, et avec une continuité qui réalise la condition essentielle de toute recherche dans le domaine de la météorologie scientifique.

Un obstacle grave à la réalisation de cette condition résulte, dans nos colonies, des éclatements prématurés des ballons, soit au cours de leur gonflement, soit dans la première partie de leur course.

Les conséquences de ces éclatements sont, d'abord, la perte d'un temps précieux (car la préparation de l'hydrogène et le gonflement sont des opérations assez longues) entraînant, parfois, l'impossibilité de fournir aux aviateurs les renseignements qui leur seraient nécessaires.

C'est, ensuite, la perte matérielle représentée par le prix des ballons, du gaz et de la main-d'œuvre. Enfin, et ceci est généralement plus grave, c'est l'épuisement rapide des réserves de ballons, nécessairement limitées par suite de l'oxydation du caoutchouc dans les régions tropicales, et dont l'éloignement retarde le renouvellement.

Il en résulte l'arrêt complet des sondages pendant des périodes souvent longues et l'impossibilité, pour les stations météorologiqes, d'assurer dans sa totalité la tâche qui leur incombe.

La suppression des éclatements prématurés apparaît ainsi comme une impérieuse nécessité. Nous allons essayer, dans les considérations qui suivent, de rechercher la façon d'y remédier le mieux possible.

Les causes de ces éclatements sont multiples. Celle qu'il est naturel d'envisager en premier lieu est la détérioration du caoutchouc dans les conditions de température des régions tropicales. Elle se produit par oxydation et aussi parce que la chaleur continue la vulcanisation, en raison du soufre libre contenu dans la gomme. Sous ces deux effets conjugués, les enveloppes perdent peu à peu leur élasticité et deviennent inaptes au gonflement.

Il ne faudrait pas, cependant, exagérer l'importance de cette altération, comme le montre le fait suivant :

Un certain nombre de ballons ont été, récemment, renvoyés en France par une colonie éloignée, subissant ainsi un séjour de plusieurs mois sous les tropiques. Malgré celà, un essai de dilatation à l'air comprimé a montré qu'ils se trouvaient dans des conditions normales d'élasticité et de résistance.

La détérioration du caouchouc ne se produit donc que lentement et ses effets peuvent être à peu près supprimés par la commande, fréquemment renouvelée, de quantités de ballons nécessaires uniquement à de courtes périodes.

La fabrication paraît, de son côté, ne pouvoir être mise en cause.

Obligeamment invité par un constructeur, nous avons pu suivre cette fabrication dans ses moindres détails et acquérir la certitude qu'elle présente toute garantie.

Nous en donnons ci-après un résumé, destiné à faire ressortir sa simplicité.

La fabrication des ballons

1° *Matière première* : le caoutchouc utilisé est de la feuille anglaise vierge de qualité supérieure, dont l'épaisseur varie de 0 mm. 50 à 0 mm. 55, suivant le diamètre des ballons, et dont le pouvoir de dilatation superficielle, après vulcanisation, est approximativement de 25.

La fabrication en feuille anglaise est nettement préférable à l'ancien procédé qui consistait à déposer sur des moules hémisphériques une mince couche de caoutchouc en dissolution.

L'homogénéité et l'imperméabilité obtenues actuellement paraissent, entre autres, bien supérieures.

2° *Découpage des fuseaux* : cette opération est effectuée à l'emporte-pièce, sur plusieurs épaisseurs à la fois. Chaque fuseau comporte, à sa base, une partie allongée rectangulaire qui servira à constituer la tubulure de gonflement, cette dernière faisant ainsi corps avec le ballon.

3° *Assemblage des fuseaux* : immédiatement après le découpage, leurs bords étant encore vifs, les fuseaux sont assemblés par simple rapprochement et soudure des molécules entre elles sous l'action d'un martèlement très rapide.

Les marteaux utilisés sont commandés mécaniquement par des cames à dents multiples tournant à grande vitesse. L'enclume sur laquelle ils frappent présente la particularité d'être très effilée, car son extrémité se trouve, en fin d'opération, à l'intérieur du ballon et doit pouvoir sortir par la tubulure, au fur et à mesure de la jonction des bords de celle-ci.

L'action des marteaux échauffe fortement le bord des fuseaux, en partie grâce à l'élévation de température de l'enclume due aux chocs répétés, mais surtout en raison de la chaleur dégagée, dans la masse même du caoutchouc, par la fréquence élevée de compression et dilatation à laquelle il est soumis.

Il en résulte un ramollissement favorable à l'écrasement et à la jonction des molécules entre elles et ce procédé réalise en somme la soudure autogène des différentes parties constituant les enveloppes, éliminant les aléas toujours possibles dans un assemblage au moyen d'adhésifs quelconques.

4° *Vulcanisation* : cette opération, dont l'influence est considérable sur les propriétés finales du caoutchouc, est effectuée à froid, suivant le procédé Parkes, qui donne de bons résultats sur les feuilles minces. Les enveloppes sont plongées dans une solution à faible teneur (1/50 environ) de chlorure de soufre dans du sulfure de carbone.

Ce dernier provoque, par suite de son pouvoir dissolvant, un ramollissement partiel du caoutchouc, favorisant sa combinaison avec le soufre du chlorure. Le résultat s'obtient en un temps variable suivant l'épaisseur des feuilles, mais qui ne dépasse jamais quelques minutes.

Les ballons sont ensuite séchés rapidement par évaporation naturelle (après avoir subi une légère insufflation d'air qui détruit leurs plis et évite que certaines parties restent couvertes de sulfure de carbone et se ramollissent), puis passent au banc d'essai.

5° *Essais* : les enveloppes sont toutes dilatées à l'air comprimé jusqu'au diamètre qui correspond à celui prévu pour leur lancement. Cette opération élimine automatiquement celles qui pourraient se présenter en mauvaise condition.

6° *Neutralisation* : les ballons ayant simplement été séchés après leur vulcanisation contiennent un peu d'acide chlorhydrique provoqué par l'action de l'hydrogène, dégagé au cours de cette opération, sur le chlorure de soufre.

Il est nécessaire de neutraliser cet acide et ce résultat est obtenu en les plongeant dans une solution d'ammoniaque à 2% contenue dans des cuves rotatives.

Un lavage complète l'opération.

7° *Teinture* : elle est exécutée, par immersion, dans un bain chaud de couleur d'aniline, sur les ballons qui doivent présenter une teinte différente du blanc translucide que possède naturellement la feuille vulcanisée tendue. Pour les autres, elle est remplacée par un simple passage dans l'eau chaude qui permet au caoutchouc ayant subi l'essai de dilatation de reprendre sa forme et sa texture premières.

Les ballons sont, enfin, séchés à l'étuve.

Si l'on excepte la composition de la solution de chlorure de soufre et le temps nécessaire à la vulcanisation qui doivent être soigneusement déterminés par l'expérience, ces diverses manipulations ne présentent, en somme, aucun point délicat. Un soin méticuleux étant de plus apporté à leur exécution, la fabrication des ballons, telle que nous l'avons suivie, permet de les obtenir avec un maximum d'élasticité et de résistance.

Cause principale des éclatements

La cause principale des éclatements prématurés doit donc être cherchée ailleurs et c'est en procédant nous-mêmes aux essais d'une importante quantité de ballons prêts à la livraison, que nous avons pu nous rendre compte de sa nature exacte.

Un premier gonflement au diamètre prévu pour le lancement provoque une proportion d'éclatements de 6% environ.

Si les ballons intacts sont ensuite soumis, après avoir été dégonflés, à l'action d'une chaleur modérée, ils reviennent, ainsi que nous l'avons mentionné dans le résumé de la fabrication, à leur forme initiale, la feuille de caoutchouc semblant n'avoir subi aucune modification.

Pourtant, un nouvel essai de ces ballons provoque encore 6% de déchet et, les opérations se renouve-

lant dans le même ordre, on retrouve, à chaque fois, la même proportion d'éclatements.

Si l'on observe de plus que la majorité de ces derniers se produisent lorsque le ballon a atteint un diamètre très voisin de celui de son utilisation, la conclusion de ces expériences se présente d'elle-même.

La dilatation provoque sans doute une modification de la structure du caoutchouc, entraînant une diminution de son élasticité. Mais cette diminution est certainement faible, car après le traitement par la chaleur, aucune variation sensible ne se remarque dans les dimensions des enveloppes.

Cette légère diminution de résistance suffisant tout de même à provoquer l'éclatement d'un certain nombre de ballons au cours de l'essai suivant, elle représente, en tenant compte du diamètre où se produisent les ruptures, la marge de sécurité maximum qu'ils possédaient encore à la fin du gonflement précédent.

Par conséquent, et ceci représente à notre avis la cause principale des éclatements prématurés, *les ballons du type actuel sont prévus, quelles que soient leurs qualités d'élasticité, pour être gonflés au départ à un diamètre beaucoup trop voisin de celui qui provoque leur rupture.*

Il aurait d'ailleurs été possible d'établir, *a priori*, ce résultat par la considération de leurs caractéristiques.

Elles sont les suivantes :

1. — *Ballons de petit modèle.*

à vide	diamètre de l'enveloppe (supposée sphérique)..	8 cm. 1/2
	poids du caoutchouc	9 grammes
	superficie.....	227 cm²
pour une force ascensionnelle de 18 gr.	diamètre de l'enveloppe..	36 cm. environ
	superficie de l'enveloppe.	4.051 cm² »
	coefficient de dilatation superficielle.....	17,8

2. — *Ballons de moyen modèle.*

à vide	diamètre de l'enveloppe..	18 cm.
	poids de l'enveloppe.....	55 gr.
	superficie de l'enveloppe.	1.018 cm²
pour une force ascensionnelle de 150 grammes	diamètre de l'enveloppe..	72 cm environ
	superficie de l'enveloppe.	16.286 cm² »
	coefficient de dilalation superficielle	16
pour une force ascensionnelle de 200 gr.	diamètre de l'enveloppe ..	76 cm. env.
	superficie de l'enveloppe .	18.145 cm²
	coefficient de dilatation superficielle.....	17,8

3. — *Ballons de grand modèle.*

à vide	diamètre de l'enveloppe..	25 cm.
	poids de l'enveloppe.....	85 gr.
	superficie de l'enveloppe.	1.963 cm²
pour une force ascensionnelle de 500 gr.	diamètre de l'enveloppe..	100 cm env.
	superficie de l'enveloppe .	31.416 cm²
	coefficient de dilatation superficielle.....	16

Or, la rupture des enveloppes considérées se produit, à la température de 25° et d'après les essais que nous avons effectués, pour une dilatation superficielle comprise généralement entre 20 et 25, n'atteignant 30 que dans quelques rares cas. Cette limite dépend de la qualité du caoutchouc et, toutes choses égales d'ailleurs, est plus faible pour les gros ballons que pour les petits par suite d'une moins grande homogénéité de leur structure (le coefficient 20 paraît difficile à dépasser pour ceux dont le diamètre à vide est supérieur à 25 cm.).

On voit, dans ces conditions, que les dilatations imposées aux ballons du type actuel sont beaucoup trop voisines de la limite pratique de sécurité, inférieure nécessairement à la limite de rupture, et qu'il suffira d'une très légère altération du caoutchouc pour que se produisent de nombreux éclatements prématurés.

Un autre inconvénient grave en résulte d'ailleurs, qui est l'impossibilité, pour les ballons ainsi utilisés, d'atteindre une altitude suffisamment élevée par suite de la diminution progressive de la pression ambiante.

Cette question nous paraissant présenter quelque importance, nous allons essayer, dans l'étude ci-après, d'examiner quelle peut être cette altitude.

Evaluation de l'altitude atteinte par les ballons pilotes

Nous supposerons l'enveloppe parfaitement étanche, et la température et la pression égales à l'intérieur et à l'extérieur du ballon.

Soient :

h_o la pression atmosphérique au sol à l'instant considéré.

t_o la température atmosphérique au sol à l'instant considéré.

Z une altitude quelconque, celle du sol étant prise comme zéro.

h la pression atmosphérique à l'altitude Z.

t la température atmosphérique à l'altitude Z.

t_m la température moyenne entre le sol et l'altitude Z.

D le diamètre du ballon, supposé sphérique, avant toute dilatation.

K_0 D le diamètre du ballon au départ.

K D le diamètre du ballon à l'altitude Z

α le coefficient de dilatation des gaz $\left(\frac{1}{273}\right)$

La loi de Gay-Lussac nous donne :

$$\frac{\pi}{6} \times \frac{Ko^3\ D^3\ h_o}{1+\alpha t_o} = \frac{\pi}{6} \times \frac{K^3\ D^3\ h}{1+\alpha t}$$

ou :

$$\frac{K_0^3 \times h_o}{1+\alpha t_o} = \frac{K^3 \times h}{1+\alpha t} \qquad (1)$$

D'autre part, la loi de Laplace permet d'écrire :

$$Z = 18400 \times A \times (1+\alpha t_m) \times \log \frac{h_o}{h} \qquad (2)$$

A étant un coefficient très voisin de l'unité que nous pourrons négliger sans erreur appréciable.

De l'équation (1), on tire :

$$K = K_0 \sqrt[3]{\frac{h_o\ (1+\alpha t)}{h\ \ (1+\alpha t_o)}}$$

ou, d'après (2) en posant $18400\ (1 + \alpha t_m) = m$

$$K = K_0 \sqrt[3]{10^{\frac{z}{m}} \times \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t_o}} \qquad (3)$$

La température t étant elle-même une fonction de l'altitude, cette dernière égalité exprime donc la loi de variation de K au fur et à mesure de l'ascension du ballon.

On voit qu'elle est indépendante de D. Par conséquent, des ballons de diamètres différents à vide, mais dilatés au départ dans la même proportion, atteindront une altitude déterminée uniquement par leur élasticité maximum. Les gros ballons monteront donc, dans ce cas-ci, d'après ce que nous avons vu en examinant les caractéristiques des modèles actuels, moins haut que les petits.

L'altitude d'éclatement correspondra au maximum possible de K et sera déterminée si l'on peut connaître en fonction de l'altitude, ou ce qui revient au même de la température, la variation que subit l'élasticité du caoutchouc.

Si nous appelons K_r le coefficient de dilatation diamétrale au moment de la rupture, cette variation supposée connue, pourra s'exprimer sous la forme

$$K_r = f(Z) \qquad (4)$$

et l'altitude cherchée correspondra à la solution commune minimum des équations (3) et (4).

Mathématiquement, le problème est complexe à résoudre car il est difficile de définir d'une façon générale la loi de variation de la température avec l'altitude figurant implicitement dans les expressions (3) et (4).

Aussi, comme il ne nous semble pas nécessaire de connaître la solution avec une exactitude rigoureuse, nous allons la rechercher graphiquement par la détermination du point d'intersection des courbes représentant les équations (3) et (4) suivant un même système de coordonnées.

La première peut être tracée par points pour un lieu déterminé, si les différentes températures en altitude y sont connues.

Ces dernières varient évidemment avec les saisons et les heures de la journée.

Toutefois, en admettant que leur gradient reste sensiblement constant, on peut, sans erreur appréciable, considérer comme valable à chaque instant le résultat obtenu d'après les températures moyennes de l'année (erreur maximum en altitude : 3% environ).

Par contre, l'inclinaison de la tropopause vers les pôles, en provoquant des modifications importantes de la répartition des températures suivant les différentes couches de l'atmosphère, ne permet pas de généraliser les valeurs de K obtenues pour un endroit déterminé.

Il nous a donc paru nécessaire de les rechercher pour la zone tropicale et la zone tempérée séparément, en nous basant, comme nous venons de le voir, sur les valeurs annuelles moyennes de la température, aux différentes altitudes des régions considérées.

D'après le Lexique de l'Office National Météorologique, elles peuvent être considérées comme les suivantes :

Région tropicale

ALTITUDES (mètres)	TEMPÉRATURES (degrés ctg)	ALTITUDES (mètres)	TEMPÉRATURES (degrés ctg)	ALTITUDES (mètres)	TEMPÉRATURES (degrés ctg)
0 (sol)	+ 26	6.000	— 7	12.000	— 51
1.000	+ 20,5	7.000	— 13	13.000	— 59
2.000	+ 15	8.000	— 19	14.000	— 68
3.000	+ 9,5	9.000	— 26	15.000	— 74
4.000	+ 4	10.000	— 34	16.000 et	— 80
5.000	— 1,5	11.000	— 42	au delà	

Région tempérée

ALTITUDES (mètres)	TEMPÉRATURES (degrés ctg)	ALTITUDES (mètres)	TEMPÉRATURES (degrés ctg)	ALTITUDES (mètres)	TEMPÉRATURES (degrés ctg)
0 (sol)	11,5	6.000	— 20	12.000	— 53
1.000	8	7.000	— 26,4	13.000	— 54
2.000	4	8.000	— 33,5	14.000	— 55
3.000	— 1,5	9.000	— 39	et	
4.000	— 7	10.000	— 44,5	au delà	— 55
5.000	— 13,5	11.000	— 49		

En portant ces valeurs dans l'équation (3), nous avons, en définitive, pu tracer les courbes représentant K en fonction de l'altitude pour différentes valeurs de K_0 permettant une interpolation (voir figure 1 : régions tropicales en trait plein et régions tempérées en pointillé).

La fonction $K_r = f(Z)$ paraît plus difficile à définir, mais le problème se simplifie beaucoup par les observations suivantes :

1° Nous connaissons sa valeur au sol, car nous avons déjà vu que le coefficient de dilatation superficielle provoquant l'éclatement au sol pour une température de 25 degrés, coefficient qui représente évidemment $(K_r)^2$, peut être pris égal à 30 pour des caoutchoucs d'élasticité spécialement favorable, à 25 pour une élasticité moyenne et à 20 pour une élasticité médiocre.

2° La caoutchouc possède une curieuse propriété mise en évidence par les travaux de M. Polanyi et A. Schob en Allemagne (voir Kirchoff, Technologie du caoutchouc) :

Pris à l'état de repos et soumis à l'action du froid il perd ses propriétés élastiques qui, à la température extrême de lair liquide (— 188°) paraissent avoir, totalement disparu.

Mais si ce même caoutchouc, au lieu d'être pris à l'état de repos, est *préalablement tendu*, ses *propriétés élastiques ne diminuent sensiblement pas sous l'action du froid.*

C'est ainsi que les auteurs déjà cités, en soumettant des éprouvettes de caoutchouc ayant subi un allongement préalable quintuplant leur longueur ont pu, à la température de l'air liquide, porter cette dilatation à 8 fois la longueur initiale, valeur qui ne représente qu'une diminution négligeable de l'élasticité.

Les enveloppes des ballons se trouvant évidemment dans le cas du caoutchouc préalablement tendu, nous pourrons *a fortiori* considérer comme pratiquement constant, entre la température du sol et celle de la stratosphère, leur coefficient diamétral de rupture K_r, cette valeur étant définie (sous condition, dans les climats froids, d'un réchauffement des enveloppes par immersion dans l'eau chaude avant toute dilatation) par la dilatation superficielle provoquant l'éclatement à 25°, telle qu'elle a été fixée plus haut.

On peut d'ailleurs vérifier ceci d'une autre façon en considérant les résultats des sondages effectués à l'Observatoire de Trappes, au cours desquels certains ballons munis d'appareils enregistreurs ont atteint couramment des altitudes de 14.000 mètres.

Ces ballons possédaient les caractéristiques suivantes (voir Lexique de l'O. N. M.) :

Diamètre avant dilatation : 75 cm. environ ;

Poids total de l'enveloppe et des appareils : 2.000 grammes ;

Force ascensionnelle libre : 1.200 grammes.

D'où :

Force ascensionnelle totale : 3.200 grammes.

Diamètre au départ : 177 cm. environ.

On vérifie dans ces conditions que l'éclatement à 14.000 mètres correspondrait, pour un ballon parfaitement sphérique, à une dilatation superficielle moyenne de 18. En réalité, par suite du poids des appareils uniquement supportés par la région supérieure de l'enveloppe, certaines parties se trouvent plus tendues que d'autres et le coefficient de dilatation superficielle des premières au moment de la rupture ne diffère pratiquement pas de la valeur 20 que nous avons vue être normale pour des ballons de ce diamètre à la température de 25 degrés.

Ceci vérifiant le principe énoncé, on peut donc admettre la constance de K_r malgré l'abaissement de température et la courbe cherchée devient une droite parallèle à l'axe des altitudes.

Nous avons, sur la figure 1, tracé cette droite (trait ponctué) pour des dilatations superficielles limites, soit $(K_r)^2$, égales à 30, 25 et 20.

La première ne correspond qu'à de très rares cas d'élasticité spécialement favorables.

La seconde se rapporte aux ballons du type normal se trouvant dans de bonnes conditions d'élasticité et gonflés au départ avec précaution (après immersion dans de l'eau à 37° notamment).

La troisième est relative aux ballons quelque peu

anciens et ne se présentant par conséquent pas dans les meilleurs conditions d'élasticité. Il est prudent également de la considérer comme un maximum pour les ballons d'un diamètre à vide égal ou supérieur à 25 centimètres et pour ceux qui, peu gonflés au départ, sont destinés à monter très haut.

On peut prévoir, en effet, que si le caoutchouc tendu conserve son élasticité malgré le froid, d'autres facteurs peuvent la diminuer, comme par exemple une tension trop prolongée ou le dépôt de cristaux de glace.

Enfin, pour les ballons munis d'appareils et soumis par conséquent à des dilatations inégalement réparties, les expériences que nous avons citées montrent que le coefficient moyen de dilatation superficielle maximum doit être pris égal à 18 environ, soit $K_s = 4,25$.

Remarque. — Les résultats ci-dessus ont été obtenus en supposant les enveloppes parfaitement étanches.

Dans le cas contraire, les dilatations réelles sont inférieures à celles calculées et, si la déperdition d'hydrogène est suffisamment faible pour que la force ascensionnelle reste positive assez longtemps, le ballon peut atteindre une altitude plus élevée que celle prévue. Sa vitesse décroissant en outre progressivement, il peut finir par s'arrêter avant l'éclatement, puis redescendre.

Ceci explique sans doute que certains ballons ont pu être observés pendant un temps beaucoup plus long que celui qui leur aurait été nécessaire pour atteindre l'altitude normale de rupture.

La connaissance de cette dernière constitue, en somme, un excellent moyen de vérification de la constance de la vitesse ascensionnelle.

Dans le cas où le sondage est effectué au moyen d'un seul théodolite, il sera par conséquent nécessaire, si l'on se trouve en présence d'un ballon se comportant comme ci-dessus, de ne considérer comme exactes que les indications obtenues pendant les dix premières minutes de son ascension.

L'examen des courbes de la figure 1 montre, sans qu'il soit besoin d'insister, les avantages considérables qui peuvent résulter, pour la commodité et l'étendue des sondages, d'une dilatation inférieure à celle utilisée actuellement.

Les ballons ainsi gonflés présenteront cependant l'inconvénient de posséder, à égalité de dimensions des enveloppes, une vitesse ascensionnelle moins élevée.

Il devient donc nécessaire de pouvoir évaluer cette vitesse pour chaque cas particulier, la connaissance de sa valeur initiale constituant la base même du procédé de sondage le plus courant dans nos colonies et sa diminution fixant nécessairement les limites de celle du gonflement.

Nous allons, ci-après, rechercher une expression permettant, de façon commode, d'arriver à ce résultat.

Calcul de la vitesse ascensionnelle initiale des ballons pilotes

Il est évident, *a priori*, que l'établissement d'une formule rigoureuse est impossible, par suite des conditions d'instabilité de l'atmosphère dont les vitesses verticales propres représentent parfois des fractions importantes de celle que nous cherchons.

Parmi les formules approximatives connues, certaines, comme celles de Rouch ou de Dines, ont le mérite de la simplicité mais ne paraissent correspondre qu'à un petit nombre de cas particuliers. D'autres, comme celles établies par Hergesell, Hesselberg ou Birkeland (voir Rothé, *Cours de Physique*) paraissent exprimer avec plus d'exactitude la généralité des phénomènes, mais elles sont complexes et peu favorables à un usage courant.

Aussi avons-nous recherché une expression moins générale, mais simple, et qui soit susceptible cependant de fournir des résultats suffisamment exacts dans les limites des caractéristiques courantes des ballons de sondage.

Pour cela, nous avons pris comme base les résultats des expériences de Hergesell.

Ces dernières semblent indiquer, dans leur ensemble, des vitesses plus faibles que celles observées réellement, car elles ont été exécutées dans des conditions quelque peu différentes des opérations à l'air libre. Mais comme ces conditions étaient les mêmes dans chaque cas, nous pouvons certainement admettre, dans les limites où nous restons relativement au diamètre des enveloppes, que la diminution remarquée sur chaque vitesse en représente une fraction sensiblement constante.

En d'autres termes, il suffira que la formule cherchée exprime des résultats identiques à ceux obtenus par Hergesell, à un coefficient constant près.

Ceci posé, soit :

P le poids de l'enveloppe du ballon,

F sa force ascensionnelle libre au départ.

Ces deux valeurs suffisent à déterminer complètement les conditions d'emploi car la somme F + P,

représentant la poussée de l'air, est proportionnelle au cube du diamètre D et nous avons, en admettant que la différence des poids spécifiques de l'air et de l'hydrogène est égale à 1 , 1 :

$$F + P = 1{,}1 \times \frac{\pi}{6} \times D^3 \qquad (5)$$

Les résultats de Hergesell peuvent alors s'exprimer de la façon suivante (voir Rothé, *Cours de Physique*).

dans (6), la constante B, nous voyons que sa valeur se modifie beaucoup suivant celles de F et P.

Par conséquent, la loi de proportionnalité de la résistance de l'air au carré de la vitesse et à la section diamétrale du ballon n'est pas exacte et la formule (6) ne peut représenter les phénomènes réels que si B est considéré non plus comme une constante mais comme une fonction de F et de P.

Pour définir cette fonction, nous avons calculé B

P en grammes	F en grammes	V en mètres par minute	P en grammes	F en grammes	V en mètres par minute	P en grammes	F en grammes	V en mètres par minute
10	10	75	50	25	80	75	250	222
10	20	100	50	50	114	125	60	105
10	30	115	50	100	154	125	125	154
30	20	81	50	200	205	125	250	217
30	30	98	75	40	94	150	75	115
30	60	136	75	75	128	150	150	168
30	100	162	75	150	178	150	270	224

Considérons, en première approximation, la formule définissant la résistance de l'air comme proportionnelle à la section diamétrale du ballon et au carré de sa vitesse. Lorsque le mouvement est uniforme, cette résistance est égale à F et l'on a :

$$F = A\ D^2\ V^2$$

A étant une constante ; ou, d'après l'égalité (5) et tous calculs faits :

$$F = B\ \frac{\sqrt{F}}{\sqrt[3]{F+P}} \qquad (6)$$

B étant une nouvelle constante.

Cette dernière équation représente la formule de Dines dans laquelle B = 84.

Si maintenant nous examinons les vitesses obtenues par Hergesell et effectuons, pour chacune d'elle, le quotient de V par $\frac{\sqrt{F}}{\sqrt[3]{F+P}}$ qui représente, pour chacune des vitesses mentionnées au tableau ci-dessus et avons recherché, en vue d'obtenir un résultat simple, si une expression de la forme

$$B = M\ \frac{F^a}{(F+P)^b}$$

dans laquelle M, a et b seraient constants, ne permettrait pas d'obtenir une évaluation suffisamment précise de la valeur de B.

En procédant par approximations successives, nous avons constaté la possibilité d'obtenir ce résultat, l'exactitude la meilleure étant réalisée dans l'ensemble pour l'égalité

$$B = 46\ \frac{F^{0{,}1}}{(F+P)^{0{,}017}} \qquad (7)$$

Nous donnons ci-dessous les valeurs de B ainsi calculées en comparaison de celles déduites des vitesses de Hergesell, l'ordre suivi correspondant à celui du tableau précédent :

B d'après Hergesell	B d'après la formule 7	Erreur relative %	B d'après Hergesell	B d'après la formule 7	Erreur relative %	B d'après Hergesell	B d'après la formule 7	Erreur relative %
64,3	61,9	— 4	67,4	69,3	+ 2,7	96,5	95,4	— 1,1
69,4	67,9	— 2,1	74,8	76,5	+ 2,1	77,2	77,7	+ 0,6
71,8	72,8	+ 1,4	81,8	84,3	+ 3	86,7	86,4	— 0,3
66,8	67,5	+ 1	91,3	92,7	+ 1,5	98,9	94,3	— 4,8
70.0	70,1	+ 0,14	72,2	73,8	+ 2,3	80,7	80,1	— 0,75
78,6	78,8	+ 0,25	78,5	80,7	+ 2,7	91,8	88.5	— 3.6
82,0	84,5	+ 3	88,5	89	+ 0.7	100	96,1	— 3.9

L'erreur relative sur chaque valeur est certainement acceptable et nous pourrons, finalement, exprimer des résultats équivalents en pratique à ceux obtenus par Hergesell par la formule simple :

$$V = 46 \frac{F^{0,15}}{(F+P)^{0,017}} \times \frac{\sqrt{F}}{\sqrt[3]{F+P}}$$

ou

$$V = 46 \frac{F^{0,65}}{(F+P)^{0,35}}$$

D'après ce que nous avons dit au début de ce paragraphe il suffit, pour obtenir l'expression réelle de la vitesse, dans les conditions courantes, de multiplier le second membre de cette formule par un terme constant.

Le produit de ce dernier par le facteur 46 peut se déterminer directement au moyen de résultats connus, en considérant par exemple qu'un ballon de 55 grammes possédant une force ascensionnelle libre de 150 grammes monte au départ à une vitesse très voisine de 200 mètres à la minute.

Tous calculs faits, l'expression cherchée s'écrira finalement :

$$V = 50 \frac{F^{0,65}}{(F+P)^{0,35}}$$

dans laquelle V est exprimé en mètres par minute, F et P en grammes.

Cette formule est d'un calcul aisé. De façon à en faciliter encore l'application, nous donnons, d'autre part (voir fig. 2) un abaque qui la représente dans le système des points alignés de M. d'Ocagne.

L'échelle de gauche correspond à la somme F + P ou au diamètre du ballon au départ (exprimé en centimètres), les deux valeurs correspondantes étant situées sur le même point de l'échelle.

L'échelle du milieu correspond à F. Cette valeur peut être toujours connue, soit par mesure directe au moyen de poids, soit par mesure de D qui détermine la somme F + P d'où il suffit de retrancher le poids connu de l'enveloppe.

L'échelle de gauche donne les vitesses en mètres par minute.

Emploi de l'abaque. — Il suffit de joindre par une ligne droite les valeurs de F + P (ou D) et de F prises sur leurs échelles respectives. Cette droite coupe l'échelle des vitesses au point correspondant au nombre exprimant V.

Conclusion

La comparaison des figures 1 et 2 montre rapidement qu'une diminution du gonflement initial des ballons diminue peu la vitesse ascensionnelle par rapport au gain considérable d'altitude et de sécurité des sondages.

Nous voyons, par exemple, que le ballon de 25 cm. à vide, que nous avons déjà cité et dont l'enveloppe pèse 85 grammes, gonflé au départ à 1 mètre, possède une force ascensionnelle libre de 500 grammes pour une vitesse de 300 mètres à la minute.

Mais, pour un coefficient de dilatation superficielle de rupture égal à 20, il éclatera à 3.500 mètres, tandis que gonflé seulement à 80 centimètres, soit avec un coefficient de dilatation diamétrale de 3,2 il pourra atteindre 9.500 à 10.000 mètres, sa vitesse restant égale à 225 mètres par minute, valeur très suffisante dans la majorité des cas.

Ce procédé constitue donc, à notre avis, une amélioration sensible de la technique des sondages.

Il doit leur permettre de répondre, d'une part, aux besoins croissants des déplacements aériens, dont la fréquence et l'altitude iront sans cesse en augmentant et, d'autre part, d'assurer l'étude des mouvements de la haute atmosphère dont l'influence sur les différents facteurs climatiques apparaît de plus en plus comme très importante.

Ce résultat obtenu, il restera ensuite à augmenter la précision des mesures, notamment en n'admettant plus, aux altitudes élevées, la constance de la vitesse ascensionnelle.

Les déperditions d'hydrogène à travers les enveloppes sont, en effet, d'autant plus fortes que la pression ambiante est plus faible et la résistance opposée par l'air raréfié aux corps en mouvement ne suit certainement pas la loi déterminée expérimentalement au niveau du sol.

A ceci s'ajoutent les variations dues aux courants verticaux de l'atmosphère, l'ensemble occasionnant des différences qui s'accumulent au fur et à mesure de l'ascension et finissent par rendre impossible l'évaluation de l'altitude atteinte d'après la vitesse au départ et le temps d'observation.

Les sondages à un seul théodolite devront donc être abandonnés et remplacés par des méthodes de triangulation qui permettront de déterminer directement la position exacte des ballons.

M. Brouquet,

Ingénieur-météorologiste stagiaire des Colonies.

Figure 1

ALTITUDE D'ECLATEMENT DES BALLONS PILOTES

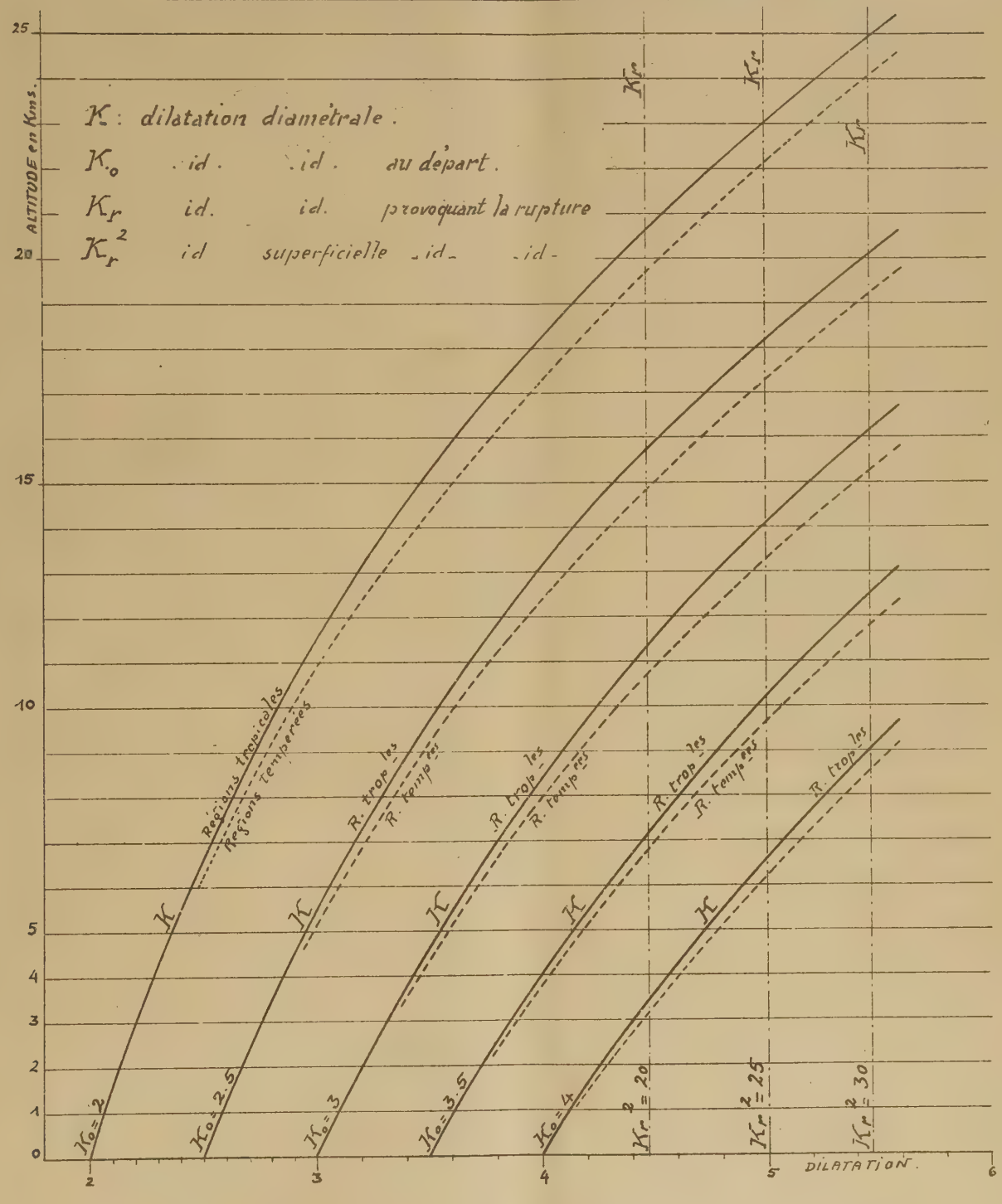
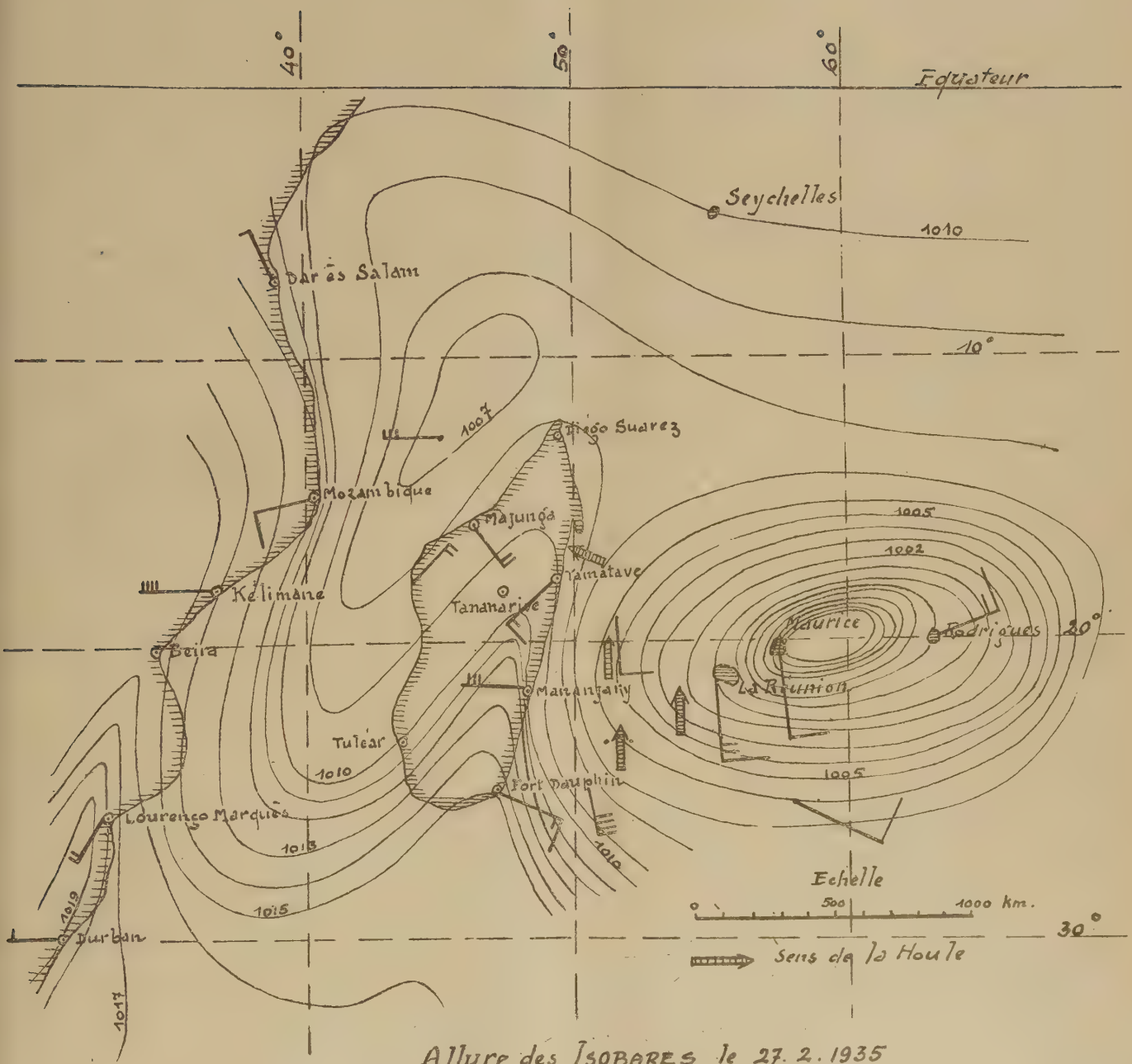


Figure 2

VITESSE ASCENTIONNELLE des BALLONS PILOTES



Allure des ISOBARES le 27. 2. 1935

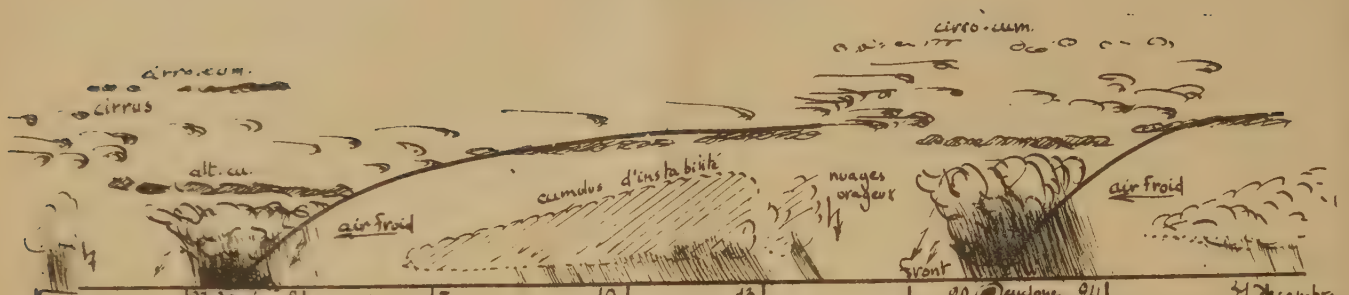
le centre d'un Cyclone se trouvant

à l'Est de la RÉUNION

TYPES DE FRONT FROID

à LA REUNION

(Nov.-Déc. 1934)



	29 nov 30 1 déc 2		3 10	13		20 cyclone 24	31 décembre
Pluie	forte	nulle	rare	petites averses d'instabilité	orages isolés et rares	grains de pluie diluvienne et cyclone	pluie nulle
Vent	violent et soutenu du SSE	vent frais	vent moyen	vent faible	calme plat	grains de vent et rafales de Sud	vent moyen
Plafond altitude des nuages inf.	100m très élevée	2500m pas de nuages inf.	800m croissant de 1000 à 3000m et de 10h à 15h	800m atteignant 4000	800m variable	100m très élevée limite supérieure incertaine	2500m quelques rares cumulus sur la montagne atteignant 2000m
nébulosité intérieure en mer	10	0	2	5	1	10	0
Visibilité	mauvaise	excellente	moyenne	mauvaise	faible	nulle dans la pluie	excellente
mer	grosse du Sud	moyenne	calme	calme	mer d'huile 1 rouleaux de front froid	mer très grosse	modérée
parasites atm.	intenses et continus	nuls	nuls	nuls	faibles ou par crises	intenses et continus	nuls
pression	en hausse 2 mmh/jour	stationnaire	baisse lente	stationnaire	plusieurs minimum en six jours	hausse 2 mmh par jour	stationnaire
energie interne par m³ d'air	minimum -18000 cal.	en hausse imperceptible	en hausse nette	maximum 22.000 cal.	baisse brusque	stationnaire avec crochet aigu de descente au passage du Front	en hausse très lente

Le front polaire dans l'Océan Indien

On constate dans l'hémisphère Sud que le 40° parallèle marque le front polaire de la même façon que la ligne Islande-Copenhague dans l'hémisphère Nord, pourtant de 20° plus élevée en latitude.

Cette différence de latitude n'est pas étonnante, puisque l'équateur thermique se trouve situé, en moyenne, par 10° de latitude nord.

Le front polaire austral indique la ligne de discontinuité entre le courant polaire d'Ouest qui souffle au Sud de Kerguelen et les courants équatoriaux du N.-E. et du N.-W., dérivation de nos alizés E.-S.-E. (1).

Des perturbations se succèdent le long de la côte du Cap à Durban et Lourenço-Marquès. Certaines atteignent la zone subtropicale : le front polaire de ces perturbations amène jusqu'à la latitude de Fort-Dauphin, rarement de Diégo, les mauvais temps que nous connaissons à la Réunion à peu près deux fois par mois (les fronts chauds existent peut-être dans nos parages, mais nous n'en avons pas observés).

De ce point de vue, il est intéressant de rapprocher les cyclones de saison chaude du mauvais temps de saison fraîche.

Dans chaque saison, le front polaire s'annonce dans nos parages par une hausse barométrique brusque, de la pluie, une forte nébulosité et un abaissement de température de 1° à 3°.

Si le courant dérivé du front polaire atteint en saison chaude la région ou règne l'air équatorial, que celui-ci soit calme ou déplacé par une mousson peu importante, la discontinuité s'accroît singulièrement entre les énergies internes des deux courants. La perturbation devient bien plus violente que celles des latitudes élevées.

Les cyclones du 30 janvier 1934 aux Mascareignes et du 19 février 1934 aux Comores, ont tous deux été causés par des courants dérivés du front polaire : pour le cyclone du 30 janvier, on notait une hausse de 3 millibars 4 à Fort-Dauphin, le 24 janvier et le courant polaire du Sud infléchi à gauche vers le N.-N.-W. par l'anticyclone subtropical atteint l'air équatorial tout le long du 20° parallèle.

Egalement, le 18 février, on voyait sur la carte un courant polaire qui remontait le Mozambique. amenant une hausse barométrique de 5,4 millibars sur Tuléar et de 3,3 sur Fort-Dauphin. Le 19 février, ce courant polaire atteint la mousson aux Comores, mousson parfaitement calme et, conformément à la théorie thermique plus qu'à la théorie dynamique, y fait naître le cyclone dévastateur de Dzaoudzi.

D'une façon analogue, les mauvais temps de saison fraîche, accompagnés de houles dites à tort « raz de marée » dont les plus notoires sont, en 1934, ceux du 10 et 23 juin et du 26 juillet, s'annoncent tous par un courant polaire direct qui, s'il ne rencontre pas en cette saison la mousson du N.-W., rencontre toutefois des alizés d'E.-S. E. qui viennent d'accomplir un long trajet sous les tropiques et ont une énergie interne élevée.

Coup de vent du 10 juin :

Air polaire T = 17°5 H = 70% énergie int./m3 ; 11.000 petites calories.

Air équatorial T = 19°5 H = 90% énergie int./m3 ; 14.500 petites calories.

Cyclone Dzaoudzi : 19 février :

Air polaire T = 23° H = 70% énergie int./m3 ; 15.000 petites calories.

Air équatorial T = 25° H = 90% énergie int./m3 ; 19.500 petites calories.

A titre d'information, on a indiqué ci-contre un tableau résumant les caractéristiques météorologiques pour la période novembre-décembre 1934 à la Réunion. Ce tableau fait notamment ressortir l'allure des types de fronts froids dans les parages de cette île. Ces renseignements gardent nécessairement une allure très schématique.

Il a paru intéressant de donner en outre une carte générale traduisant *d'une façon approchée* la répartition des isobares, la direction des vents et le sens de propagation de la houle dans l'Océan Indien au moment où le centre d'un cyclone se trouvait à l'Est de la Réunion.

On notera sur cette carte l'allure générale des vents froids du Sud à l'avant du cyclone (partie à l'Ouest du centre), ce qui est en relation à la fois avec les conclusions des travaux de MM. H. Hubert et Ch. Poisson sur les cyclones tropicaux (1).

DE MONTS
Ingénieur E. S. E.
Ingénieur-météorologiste adjoint des Colonies.

(1) Il semble que, contrairement à l'interprétation donnée ici, et conformément aux idées généralement admises, le *front polaire* méridional doive se trouver à la limite de l'air polaire venant de l'Est, et de l'air tropical, venant de l'Ouest, qui souffle encore à Kerguelen. Il y a, en outre, un *front tropical*, situé vers le 10e parallèle Sud à la limite de la mousson et de l'alizé. Il est possible que ce dernier *front* soit parfois envahi parde *l'air* polaire mais il ne s'ensuit pas nécessairement pour cela que le front polaire se substitue alors au front tropical. (N. D. L. R.)

(1) H. Hubert. — Sur la distribution des filets d'air dans les cyclones tropicaux. — Ch. Poisson. — Sur la formation des cyclones à Madagascar. *Ann. Phys. du Gl. de la France d'outre-mer.* 1934, N° 4, pp. 97 et suiv.

NOTES ET INFORMATIONS

Les études en vue de l'établissement d'une ligne aérienne de Dakar à Brazzaville, par Conakry, Abidjan, Lomé, Cotonou, Douala, Libreville et Pointe-Noire sont activement poursuivies. L'emploi d'avions amphibies est envisagé. La protection météorologique de cette ligne nécessitera des dispositions particulières, du fait de la visibilité souvent mauvaise le matin, et des précipitations exceptionnellement abondantes, en particulier au fond du Golfe de Guinée.

Le concours ouvert les 5, 6 et 25 février 1935 pour l'emploi d'Ingénieur-météorologiste stagiaire des colonies a donné lieu au classement suivant, par ordre de mérite, pour les quatre candidats reçus :

1. Emon (Jean), ancien élève de l'Ecole des Mines.

2. Pruvost (Jean), ancien élève de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

3. Molard (Pierre), ancien élève de l'Ecole des Mines.

4. Gouault (Jean), Ingénieur-agronome.

Par arrêté du Ministre des colonies ont été nommés Ingénieurs-stagiaires dans le cadre général des météorologistes des colonies :

MM. Emon (Jean), affecté à Madagascar, Pruvost (Jean) affecté au Cameroun, Gouault (Jean) affecté en A. E. F.

A la ligne aérienne d'Indochine Marseille-Saigon on vient d'ajouter un embranchement Bangkok-Ventiane-Vinh-Hanoi.

M. Richard, chef du Service météorologique de l'Afrique Equatoriale Française, a été nommé chevalier de l'Etoile Noire du Bénin.

M. Frolow, Ingénieur-météorologiste adjoint, a été désigné pour la Martinique. M. de Salles de Hys, Ingénieur-météorologiste adjoint, a été désigné pour l'Afrique Occidentale Française.

Par arrêté du Ministre des colonies en date du 20 mai 1935, un concours pour l'emploi d'Ingénieur-adjoint stagiaire du cadre général des météorologistes des colonies sera ouvert à Paris les 5 et 6 septembre 1935.

Le nombre des places mises au concours est de huit.

BIBLIOGRAPHIE

DALLONI (M.). — **Mission au Tibesti (1930-1931)** dirigée par... *Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France.* 1934, t. 61, I. Un volume 21 × 27 cm. de 372 pages, 20 planches et deux cartes hors-texte.

Le 10 juillet 1930, le Ministre des Colonies décidait la constitution d'une mission scientifique pour l'exploration du Tibesti, en lui assignant comme but principal l'étude de la géologie et des ressources minérales. La direction de cette mission était confiée à M. le professeur Dalloni ; elle comprenait, en outre, MM. Simon, Cance et Choubersky.

Chacun des membres de la mission a rédigé une partie du mémoire relatif aux résultats acquis ; d'autres auteurs (MM. Amossé, Arambourg et Corsin) y ont annexé des études complémentaires ; enfin, toute la partie consacrée au volcanisme et à la lithologie est due à M. Alfred Lacroix.

La géodésie (capitaine Simon) a porté sur la détermination de 24 points nouveaux (longitude, latitude, altitude) permettant de fixer définitivement la topographie du massif. Une carte de la déclinaison magnétique a pu être dressée en même temps.

La topographie (capitaine Cance) de tout l'itinéraire suivi a abouti à une refonte de la carte du massif à l'échelle du 1.000.000e.

Le chapitre relatif à la géologie (M. Dalloni) rapporte certaines indications relatives à la climatologie (températures de — 12° et — 15° observées par différents auteurs). De nombreuses descriptions relatives à la stratigraphie et à la tectonique complètent ce chapitre.

La partie réservée à la volcanologie (M. Alfred Lacroix) est la plus développée de l'ouvrage.

Les plus anciennes éruptions datent sans doute du Tertiaire. Les dernières sont très récentes.

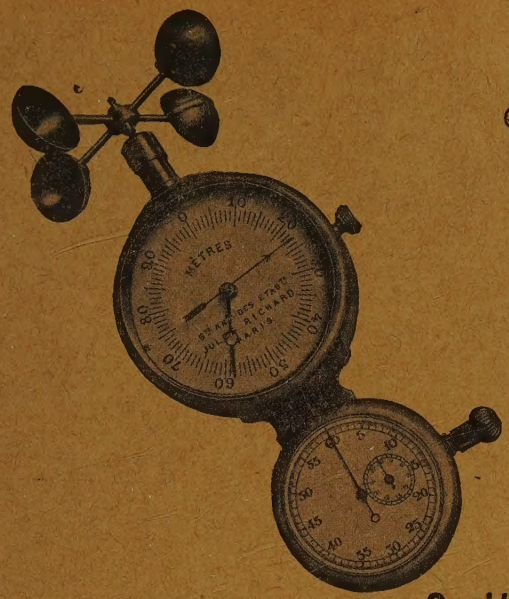
Parmi les roches leucocrates qui constituent les laves, les rhyolites prédominent de beaucoup, les trachytes et les phonolites sont très localisés. Quant aux laves noires, ce sont des dacitoïdes, des andésites, des basaltes et basanitoïdes.

Les dykes postprimaires ont des constitutions variées. Certains sont formés de roches très intéressantes, appartenant à la série syénito-théralitique.

Un dernier chapitre est consacré à la comparaison des roches volcaniques et hyperalcalines du Tibesti à celles du Sahara et de l'Afrique Nord-Orientale.

L'Éditeur-Gérant : R. PINARDON.

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze, 121-123, rue Pierre-Loti. — 1935



Société Anonyme des

Etablissements Jules RICHARD

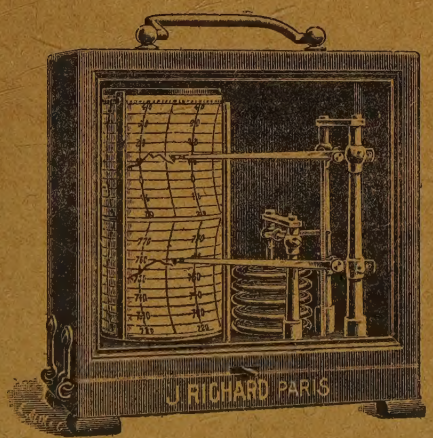
25, Rue Mélingue, PARIS (20e)

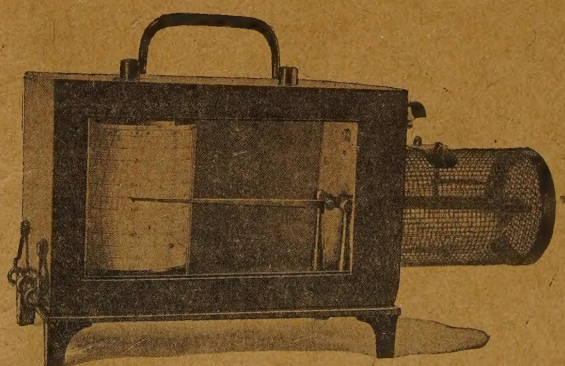
Tél. : Botzaris 88-80 — Tél. : Botzaris 88-80

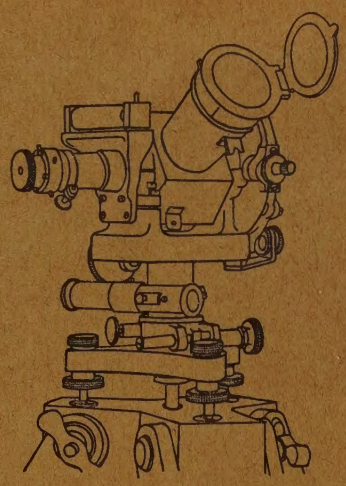
INSTRUMENTS DE PRÉCISION

de Mesure et de Contrôle

pour les Sciences et l'Industrie







A. BERTHELEMY ✿ - LORIEUX ✿ - PONTHUS ✿ et THERRODE ✿

Etabts Albert LEPETIT & Cie

Société en commandite simple. Capital 1.000.000 de francs

Constructeurs

20, Rue Marie Debos, à Montrouge (Seine)

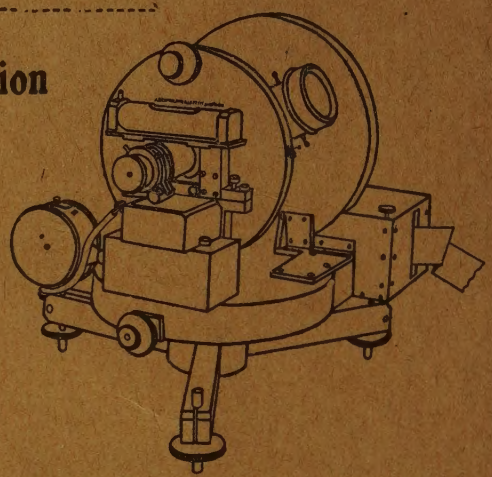
Tél. Alésia 26-37 — Ad. tél. Ponrode Paris 14

Fournisseurs des Ministères des Colonies, de la Marine, du Service Géographique de l'Armée.

Instruments de Précision

pour

— la Topographie, la Marine —
l'Aviation, la Météorologie, etc...



THÉODOLITES SIMPLES ET ENREGISTREURS
POUR LE REPÉRAGE DES BALLONS-SONDES

Catalogues franco sur demande

Rég. Comm. Seine 229-817B

ROSENMULLER
DRESDEN

ANÉMOMÈTRES
POUR TOUTES VITESSES
(à partir de 0,02 m/sec.)

GIROUETTES

TUBES DE PITOT

MICROMANOMÈTRES

LAMBRECHT
GÖTTINGEN

HYGROMÈTRES

PSYCHROMÈTRES

BAROMÈTRES

PLUVIOMÈTRES

EVAPOROMÈTRES

HÉLIOMÈTRES

A. OTT
KEMPTEN

PLANIMÈTRES
INTÉGRAPHES
ANALYSEUR-HARMONIQUE

—

ENREGISTREUR
DE MARÉE ET DE HOULE

—

APPAREILS
POUR L'ÉTUDE
DES COURANTS D'EAU

J. BAROT

Représentant exclusif
pour la France et les Colonies

20, Rue de Varenne, PARIS (7e)

Catalogues franco sur demande

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze. — 1935.